

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

Posouzení vlivu uložení rotoru asynchronního motoru na  
velikosti mechanických ztrát

Influence of Mechanical Connection of Rotor of Asynchronous  
Motor on Mechanical Power Losses

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Zubík**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Posouzení vlivu uložení rotoru asynchronního motoru na velikost  
mechanických ztrát  
Influence of Mechanical Connection of Rotor of Asynchronous Motor  
on Mechanical Power Losses

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Základní princip činnosti as. motoru, konstrukce
3. Proveďte rozbor jednotlivých tříd účinností, vliv mechanických ztrát
4. Proveďte typovou zkoušku as. motoru se zvolenými ložisky
5. Měření vyhodnoťte a výsledky porovnejte
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- KOPYLOV, Igor, Petrovič. Stavba elektrických strojů, 1988, Praha, SNTL/MIR
- CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů, Praha, 1958, SNTL
- KAČOR, Petr. Vybrané typy elektrických strojů, Ostrava, 2010, VŠB-TU Ostrava
- Katalogy a katalogové listy
- Odborné a technické www stránky
- Technické normy


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kačor, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta:**

*„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

### **Poděkování:**

*„Děkuji Ing. Petru Kačorovi, Ph.D., vedoucímu této diplomové práce, za poskytnutí důležitých a věcných informací. Rád bych také poděkoval za cenné rady a připomínky při zpracování práce Ing. Ivo Tkáčovi a panu Jiřímu Rajčulovi ze společnosti Siemens s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloši Pěničkovi a firmě Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice za možnost spolupráce na dané problematice“.*

V Ostravě dne 7.5.2015

Podpis:

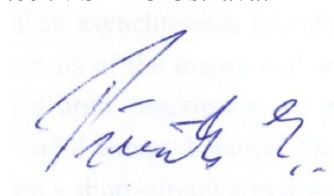


### **Prohlášení zástupce:**

*„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“*

V Mohelnici dne 5.5.2015

Podpis:



## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem uložení rotoru asynchronního motoru na velikost mechanických ztrát. První částí je rozbor teorie, kdy se seznamujeme s asynchronními stroji. V první kapitole je popsán stručně asynchronní stroj, jeho historie, princip činnosti a energetická bilance stroje.

Další kapitola se zabývá výrobou asynchronních motorů s kotvou nakrátko. Popis výroby se zaměřuje na Siemens s.r.o. odštěpný závod v Mohelnici, který je největším výrobcem nízkonapěťových motorů v Evropě. Výroba je stručně popsána od výroby statorových a rotorových plechů až po kompletní montáž. Toto zmapování výroby skvěle vysvětluje chod společnosti a ukazuje na složitost a důležitou synchronizovanou a návaznou jednotlivých stanovišť výroby. Je zde výborně vysvětlen postup pro výrobu co nejkvalitnějších a nejspolehlivějších motorů, které mají zamířit k zákazníkovi. V další kapitole jsou rozebrány třídy účinnosti jako jejich rozdělení, popis a normy na ně navazující. Základním je také rozebrání vlivu mechanických ztrát a jejich vliv na účinnost.

Nejdůležitější je však praktické měření, které bylo prováděno v prostorách zkušebny Siemens o.z. elektromotory Mohelnice. Tato moderní laboratoř byla využita k vygenerování dat z měření vlivu uložení rotoru na účinnost, což je hlavní náplní práce. Data jsou zpracována v protokolech, které jsou v přílohách k nahlédnutí. Z těchto jednotlivých protokolů jsou vybrána data vlivu mechanických ztrát na účinnost, která pomocí tabulkového procesoru EXCEL jsou porovnávána. Celkové zhodnocení má u tří změřených typů uložení rotoru určit, které prvky mají jaký podíl na snížení celkové účinnosti, což je velkým přínosem pro společnost Siemens s.r.o. a její konečné zákazníky.

## Klíčová slova

Asynchronní motor, elektromotor, účinnost, Siemens s.r.o., výkon, mechanické ztráty, ztráty, těsnící hřídelové prvky, uložení rotoru, měření, ložiska, vliv, nakrátko, protokol, normy, směrnice, výroba, o.z. Mohelnice, zkouška, hybridní rotor.

## Abstract

This thesis is concerned with the influence of embedding of an asynchronous motor's rotor on the quantity of mechanical losses. First part presents the analysis of the theory and an introduction to asynchronous machines. The first chapter contains a brief description of an asynchronous machine, its history, principle of its operation and its useful energy balance. The next chapter is concerned with production of asynchronous motors with a short-circuit armature. The description of production is aimed at Siemens s.r.o., branch in Mohelnice, which is the largest manufacturer of low-voltage motors in Europe. The production process is briefly described starting from manufacturing of stator and rotor sheetmetals up to complete assembly.



This production mapping explains the company's operation and displays the complexity of production and the importance of synchronicity and linkup of individual stations of production. The manufacturing process of top-quality and top-reliability motors to be used by the customers is explained here. The next chapter is concerned with efficiency classes, their breakup, description and related standards. It also describes the influence of mechanical losses on the efficiency.

The most important part is practical measurement, which was conducted on the premises of the test room of Siemens o.z. elektromotory Mohelnice company. This modern laboratory was used to generate data from measurements of rotor's embedding and its influence on motor's efficiency, which constitutes the main body of this thesis. Data are compiled in protocols, which are presented as attachments of the thesis. From these protocols, data regarding the effect of mechanical losses on efficiency are extracted and then compared using the Excel spreadsheet processor. The all-around evaluation of three measured types of embedding should then define which components effect the proportion of overall performance losses, which constitutes a benefit for the Siemens company and its end customers.

## **Keywords**

Asynchronous motor, electromotor, efficiency, Siemens s.r.o., performance, mechanical losses, losses, sealing shaft components, rotor embedding, measurements, bearings, influence, short-circuit armature, protocol, standards, regulations, manufacturing, Mohelnice branch, examinations, hybrid rotor.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

3f	třífázové	
l	odkaz na poznámku pod čarou	
°	stupeň	
°C	stupeň celsia	
A	ampér	
atd.	a tak dále	
cosφ	účinník	
ČSN	označení české technické normy	
D	zapojení elektromotoru do trojúhelníku	
EFF1	vysoká účinnost	
EFF2	standardní účinnost	
EN	označení evropské normy	
EU	Evropská unie	
f	frekvence	Hz
Hz	hertz	
I	proud	A
IE1	standardní účinnost	
IE2	zvýšená účinnost	
IE3	vysoká účinnost	
IE4	velmi vysoká účinnost	
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise	
$I_N$	jmenovitý proud	A
IP(X)	stupeň krytí	
K	kelvin	
kg	kilogram	
kV	kilovolt	$10^3$ V
kW	kilowatt	$10^3$ W
mm	milimetr	$10^{-3}$ m
n	otáčky	$\text{min}^{-1}$
např.	například	
$n_s$	synchronní otáčky	$\text{min}^{-1}$
obr.	obrázek	
p	počet pólů	
$P_1$	příkon/příkon naprázdno	W
$P_2$	výkon	W
s	skluz	%
t	čas	s
Tab.	tabulka	
$T_{IN1}$	naměřený vnitřní záběrný moment	Nm
tzv.	takzvaně	
U	napětí	V
$U_i$	indukované napětí	V
$U_K$	napětí nakrátko	%
$U_m$	magnetomotorické napětí	A
$U_N$	jmenovité napětí	V

$V$	volt	
$Y$	zapojení elektromotoru do hvězdy	
$\Delta P_0$	ztráty naprázdno	W
$\Delta P_{Cu}$	ztráty v mědi	W
$\Delta P_d$	přídavné ztráty	W
$\Delta P_{Fe}$	ztráty v železe	W
$\Delta P_{fw}$	mechanické ztráty	W
$\Delta P_s$	ztráty ve statorovém vinutí	W
$\Delta \Theta$	oteplení	K
$\eta$	účinnost	%
$\Theta_s$	teplota vinutí	°C
$\phi$	magnetický tok	Wb
$\omega$	elektrická úhlová rychlost	rad·s <sup>-1</sup>
$\Omega$	mechanická úhlová rychlost	rad·s <sup>-1</sup>

## OBSAH

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Základní princip činnosti as. motoru, konstrukce .....</b>	<b>2</b>
2.1 Asynchronní stroj .....	2
2.2 Historie .....	3
2.3 Princip činnosti.....	4
2.3.1 Funkce a pracovní stavy .....	5
2.3.2 Energetická bilance .....	6
<b>3 Konstrukce As.motoru s rotorem nakrátko v Siemens s.r.o. ....</b>	<b>8</b>
3.1 Asynchronní motory s rotorem na krátko.....	8
3.2 Blokové schéma výroby asynchronního motoru .....	10
3.3 Stručný popis výroby as.motoru .....	10
3.4 Výroba komponentů elektromotoru .....	12
3.4.1 Statorový svazek nenavínutý .....	12
3.4.2 Surový rotor .....	14
3.4.3 Statorový svazek navínutý.....	16
3.4.4 Výroba hřídelí.....	18
3.4.5 Rotor kompletní .....	19
3.4.6 Stator v kostře .....	20
3.4.7 Kostra .....	21
3.4.8 Ložiskové štíty .....	21
3.4.9 Finální montáž elektromotoru .....	22
3.4.10 Povrchová úprava elektromotoru .....	23
3.4.11 Balení a expedice .....	24
<b>4 Třídy účinností as. motorů .....</b>	<b>26</b>
4.1 sjednocení tříd účinnosti .....	26
4.2 Třídy účinnosti IE.....	26
4.3 Měřicí metoda podle IEC 60034-2--:2007 .....	26
4.3.1 Nejdůležitější změny .....	28
4.3.2 Termíny působnosti změn.....	29
4.3.3 Výjimky ve směrnících EU .....	29
4.4 Vliv Mechanických ztrát.....	30
4.4.1 Ztráty všeobecně .....	30
4.4.2 Mechanické a ventilační ztráty .....	30
4.4.3 Měření ztrát v ložiscích bez ventilátoru na měřeném motoru.....	31

<b>5 Protokol z měření .....</b>	<b>33</b>
5.1.1 Objednací číslo .....	33
5.1.2 Štítkové a katalogové hodnoty.....	34
5.1.3 Tabulky základních naměřených a štítkových hodnot .....	35
5.1.4 Měření naprázdno.....	38
5.1.5 Měření nakrátko.....	39
5.1.6 Výkonnostní a napěťové optimum.....	40
5.1.7 Maximální moment.....	42
5.1.8 Měření teplotními čidly.....	43
5.1.9 Měřicí přístroje.....	45
<b>6 Typová zkouška as.motoru se zvolenými ložisky .....</b>	<b>47</b>
6.1 Všeobecně o zkoušení .....	47
6.1.1 Podmínky při zkoušení .....	48
6.1.2 Měřicí přístroje.....	48
6.1.3 Tolerance .....	49
6.2 Typová zkouška.....	49
6.2.1 Základní mechanické zkoušky .....	50
6.3 Montáž měřeného motoru .....	51
6.4 Praktické měření .....	54
6.4.1 Zvolená ložiska .....	54
6.4.2 Měření č.1 .....	56
6.4.3 Měření č.2 .....	61
6.4.4 Měření č.3 .....	65
6.4.5 Měření č.4 .....	70
<b>7 Zhodnocení.....</b>	<b>76</b>
<b>8 Závěr.....</b>	<b>78</b>
<b>9 Literatura:.....</b>	<b>80</b>
<b>10 Seznam použitých obrázků a tabulek .....</b>	<b>81</b>
<b>11 Seznam příloh .....</b>	<b>85</b>
11.1 Tisknuté .....	85
11.2 Elektronické .....	85

# 1 Úvod

Lidská společnost je dnes závislá na kvalitě i ceně vyráběných elektromotorů. Výrobci se snaží držet nízké ceny elektromotorů, a však tento trend přináší ústupky v oblasti životnosti. Spousta výrobců konstruuje motory jen s určitou životností pouze po dobu záruky a tento trend postihuje nejen výrobce elektromotorů. Někteří výrobci tím zajišťují nízkou cenu elektromotorů, ale zato s nepříliš velkou kvalitou a nízkou výdrží pro jejich použití. Jedním ze světových leaderů v oblasti výroby a vývoje elektromotorů je společnost Siemens Elektromotory, která se snaží nabízet svým zákazníkům elektromotory s vysokou kvalitou vlastní výroby, kterou podporují vlastními zkouškami a vlastním vývojem.

Nedílnou součástí elektrotechniky je měření ztrát na elektromotorech, které mají vliv na jejich celkovou účinnost. V diplomové práci se zabývám uložením rotoru a následným měřením jednotlivých typů ložisek, které pak mají díky mechanickým ztrátám vliv na celkovou účinnost stroje. Měření probíhalo na motorech společnosti Siemens elektromotory o.z. Mohelnice, který je největším výrobcem elektromotorů s kotvou nakrátko v Evropě. Závod v Mohelnici vyrábí elektromotory v různých provedeních a specifikacích pro zákazníky. Osové výšky vyráběných elektromotorů v odštěpném závodě Siemens Mohelnice jsou od 63mm až do 200mm. Všechna měření pro tuto práci probíhala na zkušebně společnosti Siemens elektromotory o.z Mohelnice za využití moderních technologií a certifikovaných přístrojů.

Měření probíhala na jednom typu asynchronního motoru s hybridním rotorem se zvolenými ložisky ORS a pro každé měření byl motor osazen jinými těsníci hřídelovými prvky. Cílem bylo zjistit, jaký vliv mají jednotlivé prvky na ztráty motoru a tím pádem na celkovou účinnost. Byla provedena celkem čtyři měření. První měření na motoru bez těsnících prvků jen s jednou vyrovnávací podložkou, se kterým byla další měření porovnávána. Další měření proběhlo na motoru s dvěma vyrovnávacími podložkami. Třetí měření bylo s dvěma gufery a poslední měření bylo na motoru opatřeném dvěma V-kroužky. Na konci práce došlo k porovnání hodnot a celkovému posouzení vlivů na účinnost.

## 2 Základní princip činnosti as. motoru, konstrukce

### 2.1 Asynchronní stroj

Asynchronní stroj je nejrozšířenějším strojem vůbec. Je tomu tak pro jeho jednoduchost konstrukce, což zajišťuje vysokou provozní spolehlivost a nenáročnost na údržbu a malou pořizovací cenu. K jeho rozšíření také přispívá rozvádění el. energie, pomocí třífázových sítí, které jsou všeobecně používány. Asynchronní motory mají širokou škálu výkonů a to od několika wattů až po několik desítek MW. As. Motory mají využití u pohonu různých zařízení a to i takových, které používají regulaci rychlosti. Jasným příkladem jsou čerpadla, pračky, ventilátory kompresory, výtahy stavební stroje, pohony dopravníků, jeřáby, některé obráběcí stroje apod. [1]



Obr.č. 1- Asynchronní elektromotory malých výkonů (cca 0,09 až 15kW)

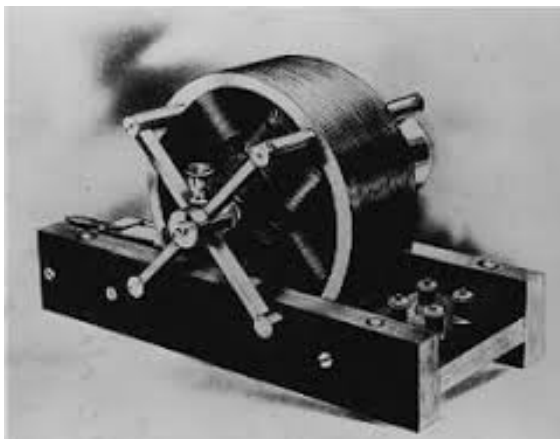
Nevýhodou asynchronních motorů je odběr jalové energie, kterou pro svou činnost tyto stroje potřebují. Jako další nevýhoda se často v literatuře uvádí u as. motorů obtížná regulace rychlosti a velký proudový ráz při spouštění. A však to je spíše nevýhodou napájení as. motorů, jelikož změnou frekvence lze dosáhnout plynulé regulace těchto motorů a také zajisti spouštění bez velkých proudových rázů. Díky pokroku v polovodičové technice a nízké ceně asynchronních motorů nakrátko jsou tyto motory stále více využity pro pohony s proměnlivými otáčkami. [2]

Asynchronní stroj, může jako každý elektrický stroj, pracovat jako generátor, nebo motor. Přechod z motorického stavu do generátorového je zcela plynulý. Jasným důkazem je použití stroje u zdvihu jeřábu, kde stroj pracuje v obou stavech, při zvedání ve stavu motorickém a při spouštění ve stavu generátorickém. Máme však ještě možnost třetí a to je oblast indukční brzdy, kdy se rotor otáčí proti směru točivého magnetického pole statoru a vytváří tak brzdny moment. [2]

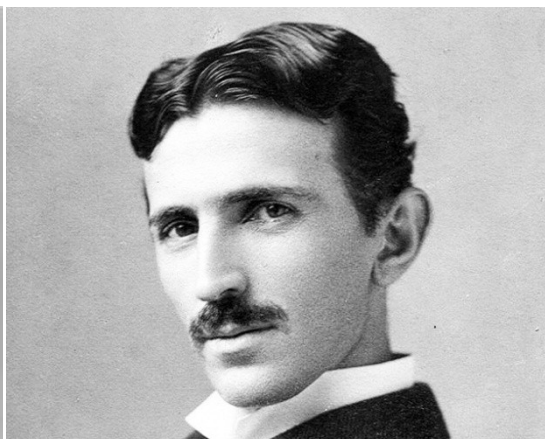
Asynchronní motory dále dělíme na motory nakrátko všeobecného použití, válečkové motory, jeřábové motory, asynchronní motory speciální apod. As. Motory nakrátko všeobecného použití jsou nejrozšířenější, což způsobilo automatizovanou a hromadnou, sériovou výrobu těchto motorů. [2]

## 2.2 Historie

Základní princip asynchronního motoru popsalo v historii mnoho autorů, a však do podoby, která byla schopna využití v průmyslu jako pohonná jednotka, ji dovedl Nikola Tesla. Stalo se tomu před více než 120lety, kdy byl stroj v tomto provedení vynálezcem patentován. Podle vzoru Nikoly Tesly se stroj vyrábí do dnešní doby. [1]



Obr.č. 2- Původní konstrukce 2f. as.motoru



Obr.č. 3- Nikola Tesla

V průmyslu se Asynchronní stroje využívají více jak 100let. Vývoj Asynchronních strojů závisí na soustavném zlepšování detailů, jelikož za dobu jejich využití nedošlo k žádnému senzačnímu vynálezu, který by ovlivnil značně jejich vlastnosti. Jako podstatný vliv na vlastnosti strojů se však bere snižování měrné hmotnosti a rozměrů asynchronních strojů. Zatímco stroje měli kolem roku 1892 přibližně 70kg/kW, o sto let později se pohybujeme už pod hranicí 8kg/kW. Je to dáno zpřesněním výpočtových metod magnetického a elektrického obvodu, především výpočty ventilace, oteplení a mechanických částí strojů. Negativní stránky snižování hmotnosti a tím i materiálu jsou ztráty užitečných vlastností těchto strojů, zvláště pak jejich účinnost a spolehlivost. V 70letech, po energetické krizi byla snaha o zvyšování účinnosti těchto motorů, jelikož jejich energetické ukazatele mají podstatný význam pro hodnocení ekonomické efektivity elektrických pohonů. [2]



## 2.3 Princip činnosti

U asynchronního stroje není elektricky spojen rotor se statorem. Asynchronnímu stroji se také říká stroj indukční, a to proto, že je do rotoru výkon přenášen elektromagnetickou indukcí. Asynchronní stroj je tedy založen na principu vzájemného působení točivého magnetického pole statoru a proudů vyvolaných tímto polem ve vinutí rotoru. Vzduchová mezera která se nachází mezi statorem a rotorem musí být vždy co nejmenší. Tím dosáhneme co nejlepší magnetické vazby.

Asynchronní stroj má tedy stejnou magnetickou vazbu mezi vstupním a výstupním vinutím jako transformátor s jedním rozdílem, a to s tím, že výstupní vinutí asynchronního stroje se otáčí. Musí však existovat relativní pohyb rotoru vzhledem k točivému poli statoru, aby v rotorovém vinutí protékal proud a indukovala se v něm elektromotorická síla. Otáčky zatíženého motoru musí být tím pádem vždy o něco menší, tudíž asynchronní, než otáčky točivého pole, které jsou synchronní. [2]

Při zatížení je pokles otáček malý a závislý na velikosti zatížení. Nejčastěji se pokles otáček udává jako skluz  $s$ , přičemž

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\frac{\omega_1}{p} - \Omega}{\frac{\omega_1}{p}}$$

Kde synchronní otáčky točivého magnetického pole statoru [ $\text{min}^{-1}$ ] jsou:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$n, \Omega$  otáčky a mechanická úhlová rychlost rotoru<sup>1</sup>

$p$  počet pólů stroje

$f$  statorová frekvence

$\omega_1$  úhlová rychlost mag. pole statoru

Skluz se udává obvykle v % a u malých motorů bývá i 10% a u velkých motorů i pod 1%. Při běžném kmitočtu (průmyslovém), tudíž 50Hz jsou nejvyšší otáčky dvoupólového motoru 3000ot/min. [2]

**Tab.č. 1- rozdělení otáček dle počtu pólů a pólů**

počet pólů (p)	1	2	3	4	5
počet pólů	2	4	6	8	12
otáčky	3000	1500	1000	750	500

<sup>1</sup> Dále v textu jsou vzorce obecného dvoupólového stroje, je možnost zaměnit mechanickou úhlovou rychlost  $\Omega$  za elektrickou úhlovou rychlost  $\omega$

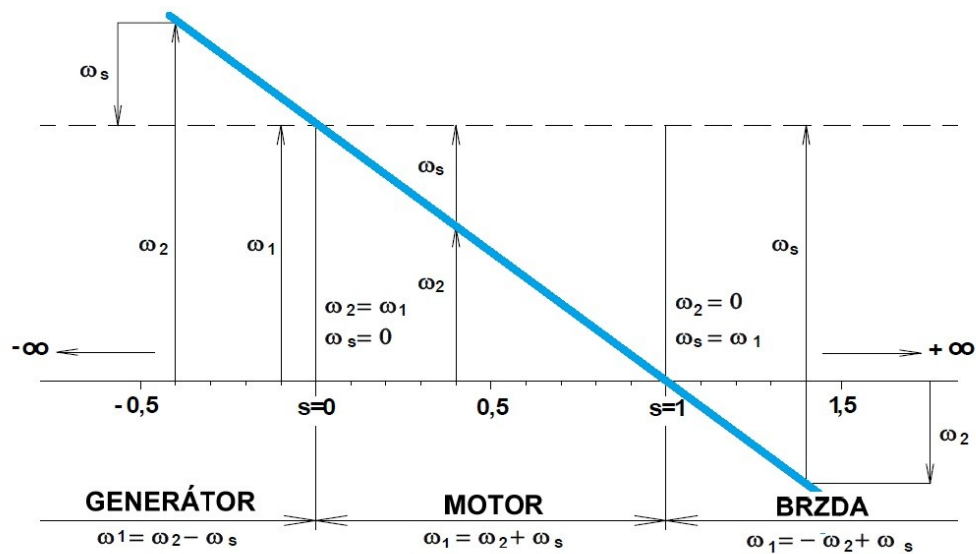
### 2.3.1 Funkce a pracovní stavy

V předchozí kapitole 2.1 Asynchronní motor, jsme již zmínili, že stroj může fungovat jako motor tak i generátor. Přechod z jednoho stavu do stavu druhého je plynulý. Skluz nejlépe vyjadřuje pracovní stav asynchronního stroje svou velikostí a znaménkem.

Jako první stav budeme považovat chod motorický. Máme dva pracovní stavy chodu motoru a to nakrátko a naprázdno. Když se rotor otáčí stejně rychle jako magnetické pole ve vzduchové mezeře, to znamená synchronními otáčkami, je skluz  $s=0$ . Jelikož nevzniká pohyb mezi rotorem a točivým magnetickým polem statoru. Ve vodičích rotoru neprotéká proud, jelikož se neindukuje elektromotorická síla a stroj tudíž nevyvíjí moment. Tento stav nazýváme ideálním chodem naprázdno. Tento stav je však idealizovaný, jelikož ve skutečnosti motor musí hradit mechanické ztráty jako je tření v ložiscích, nebo ventilační ztráty a tak je vždy zatížen určitým momentem, který odpovídá ztrátám. Synchronní rychlost tedy nemůže u motoru nikdy nastat. Při chodu naprázdno má skutečný motor také úbytky napětí a ztráty v mědi a v železe.

Dalším stavem je motor nakrátko. Rotor se neotáčí, tudíž otáčky jsou nulové a skluz  $s=1$ . Rotorové vinutí máme spojeno nakrátko. U motoru se stav nakrátko vyskytuje na počátku jeho spuštění, nebo při zastavení, když dojde k přetížení. U asynchronního motoru je mnohem větší rozptyl, než u transformátoru, protože magnetický odpor obvodu je mnohem větší. Vzduchová mezera je v magnetickém obvodu. Při stavu nakrátko je magnetický tok takřka všechen rozptylový, však jeho malá část je potřebná na indukci. Elektromotorická síla je využita na překonání úbytků napětí na činném odporu vinutí a jeho reaktanci. Nejde zde o časovou změnu pole oproti transformátoru, ale o změnu prostorovou, která je vyvolána točivým polem. Než u transformátoru, zde proud nakrátko dosahuje nižších hodnot (5-7x větší než  $I_n$ ). Všechna přivedená energie se v tomto stavu mění v teplo. [2]

Pracovní stav motoru je mezi dvěma zmíněnými stavy, tudíž mezi stavem motoru nakrátko a naprázdno. „Zatížený motor musí mít skluz, aby napětí indukované v rotoru vyvolalo proud, který, spolu s točivým magnetickým polem vytvoří moment motoru na hřídeli. Otáčky motoru jsou pak v mezích  $0 < n < n_1$  a skluz motoru  $1 < s < 0$ . Skluz je kladný a rychlost otáčení rotoru má stejný smysl jako točivé magnetické pole.“ [2]



Obr.č. 4- pracovní stavy asynchronního stroje

### 2.3.2 Energetická bilance

- Asynchronní motor odebírá z napájecí sítě činný příkon

$$P_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \quad (1.1)$$

- Vznikají ztráty v primárním vinutí

$$\Delta P_{Cu1} = m_1 \cdot R_1 \cdot I_1^2 \quad (1.2)$$

- Vznikají ztráty v železe, které vyjádříme

$$\Delta P_{Fe} = m_1 \frac{U_1^2}{R_{Fe}} \quad (1.3)$$

- Výkon přenesený ze statoru do rotoru, neboli výkon ve vzduchové mezeře.

$$P_\delta = P_1 - (\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_d) \quad (1.4)$$

„kde  $\Delta P_d$  jsou ztráty přídavné ve statoru.

Rozložení výkonových poměrů v asynchronním motoru je na (). Výkon ve vzduchové mezeře  $P_\delta$  se dělí na mechanický výkon  $P'$  a elektrický výkon  $P_{el}$ . Elektrický výkon kryje ztráty

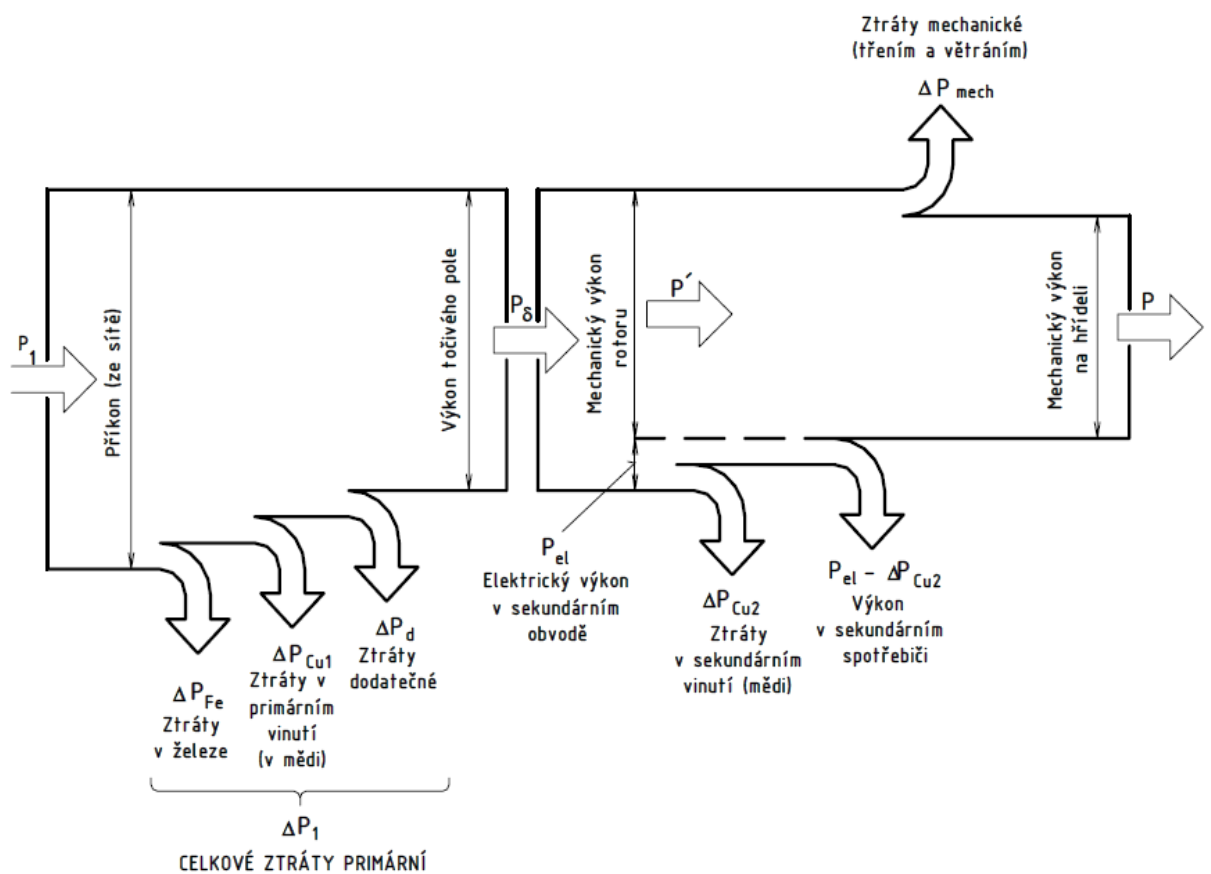
ve vinutí rotoru  $P_{Cu2}$  a výkon předávaný připojenému spotřebiči k rotorovému vinutí, eventuálně vráceného zpět do sítě (podsynchronní kaskáda). Ztráty v železe rotoru jsou malé, a proto se obvykle zanedbávají. U motoru nakrátko je  $P_{e1} = P_{Cu2}$ . Užitečný výkon motoru na hřídeli.“ [2]

$$P = P' - \Delta P_{mech} \quad (1.5)$$

kde  $\Delta P_{mech}$  jsou ztráty třením, ventilací a přídavné ztráty v rotoru. [2]

Poté můžeme odvodit účinnost motoru.

$$\eta = \frac{P}{P_1} \quad (1.6)$$



Obr.č. 5- Energetická bilance asynchronního motoru

### 3 Konstrukce As.motoru s rotorem nakrátko v Siemens s.r.o.

Siemens s.r.o. o.z. Elektromotory Mohelnice patří do mezinárodního koncernu Siemens AG, který sídlí v Berlíně. Siemens je největším výrobcem nízkonapětových asynchronních elektromotorů v Evropě. Celý koncern je největším výrobcem elektroniky na světě a zaměstnává přibližně 472 000 lidí, z toho v Mohelnickém závodě na výrobu elektromotorů pracuje cca. 2000 lidí.

Odštěpný závod v Mohelnici oslavil v roce 2014 110let od doby prvního spuštění výroby elektromotorů v Mohelnici. V současné době se závod zabývá výrobou nízkonapětových asynchronních elektromotorů s osovými výškami 63mm až 200mm. Tyto elektromotory lze objednávat koncovými zákazníky ve standardních provedeních, nebo ve speciálních specifikacích určených zákazníkem, dle použití elektromotoru pro své specifické potřeby. [4].

O.z. Mohelnice je předním dodavatelem nízkonapětových asynchronních elektromotorů. Hlavními zákazníky tohoto zvodu jsou výrobci kompresorů, klimatizačních zařízení a čerpadel. V ČR je Siemens s.r.o., o.z. Mohelnice od 1.10.2010 [5].

#### 3.1 Asynchronní motory s rotorem na krátko

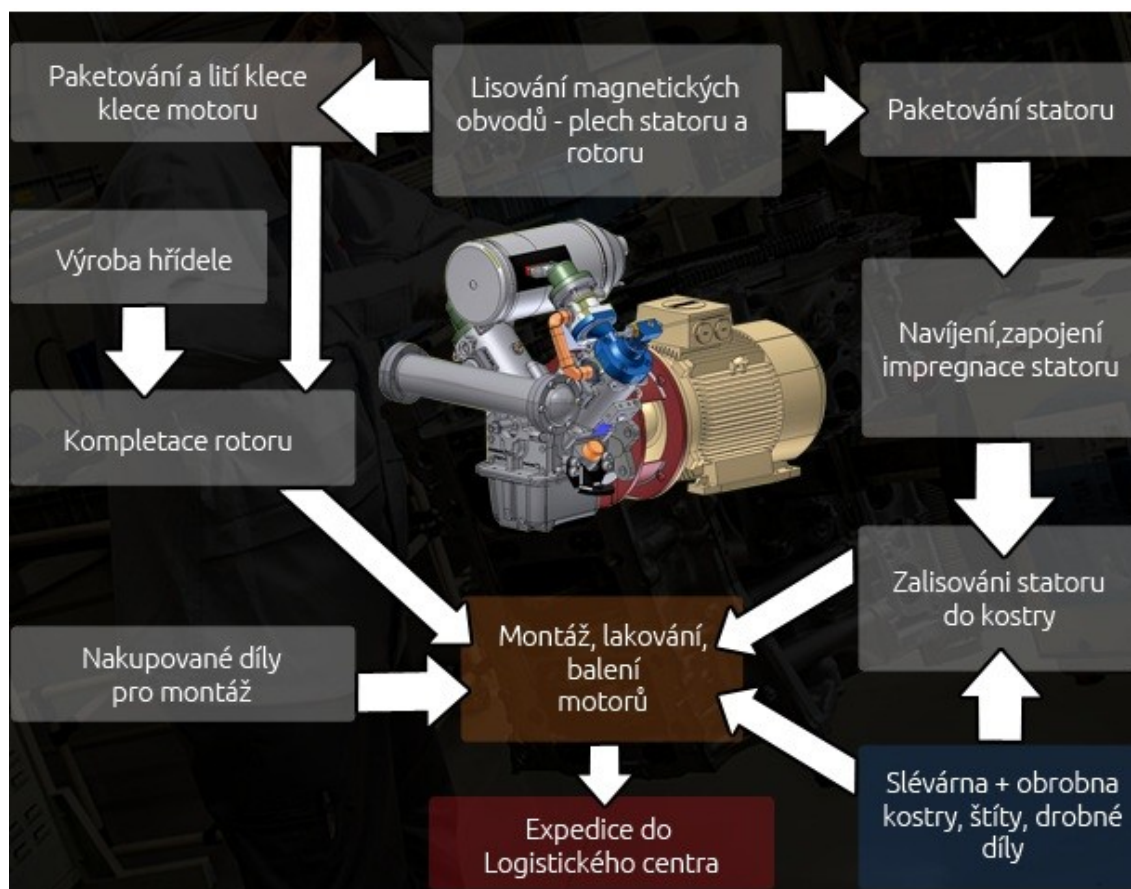
Jedny z nejpoužívanějších asynchronních motorů jsou motory s tzv. rotorem „nakrátko“.

Rotor zde není tvořen vinutím, ale je odstříknut z hliníku nebo mědi. Tyto typy motorů vyrábí společnost Siemens o.z. Mohelnice. As.motory s rotorem „nakrátko“ jsou členěny podle několika kritérií:

- a) **Jmenovitý výkon** - údaj na výkonovém štítku motoru. Udává výkon motoru v kW. Základní výkony motorů jsou normalizovány a tvoří řadu (0,09kW, 0,12kW... 1,5kW, 2,2kW, ... 470kW)
- b) **Jmenovité napětí**- údaj na výkonovém štítku motoru. Určuje na jaké napětí musí být motor připojen. (v EU je napětí 230/400V)
- c) **Frekvence sítě**- údaj na výkonovém štítku motoru. Udává na jakou frekvenci síť má být motor připojen (v EU je frekvence sítě 50Hz)

- d) **Osová výška-** údaj uvedený v typu motoru a udává výšku od roviny patek motoru po osu hřídele motoru v mm. Tento údaj je normalizovaný a tvoří řadu (63mm,... 90mm, 100mm, 112mm, 132mm, ... 355mm)
- e) **Otáčky motoru-** údaj na výkonovém štítku motoru. Udává otáčky motoru při jmenovitém výkonu a napájení jmenovitým napětím. Otáčky as. motorů jsou pevně svázány s frekvencí napájecí sítě. Například pro 2- pólové motory a frekvencí sítě 50Hz jsou otáčky cca 2750-2950ot/min. Jako synchronní jsou označovány otáčky 3000ot/min. Skutečné otáčky jsou uvedené v závorce a jsou tzv. asynchronní a vychází z fyzikální podstaty tohoto motoru. Od těchto otáček také vznikl název asynchronní motor. 4-pólové motory mají otáčky cca 1350 – 1480 ot/min, 6-pólové motory cca 850 – 950 ot/min a 8 – pólové motory cca 650 – 730 ot/min (počet pólů motoru je dán typem použitého vinutí).
- f) **Tvar motoru-** údaj na výkonovém štítku. Určuje, zda je motor upevněn patkami (tvar B3), nebo přírubou (B5,B14)
- g) **Stupeň krytí (IP)-** určuje odolnost proti vniknutí vody a pevných částic. Standard motorů vyráběných společností Siemens o.z. Mohelnice je IP55.
- h) **Třída účinnosti elektromotoru (IE)-** Nejen u jiných elektrospotřebičů, ale i u motorů je povinnost výrobců udávat „míru“ přeměny elektrické energie na mechanickou. Standardní účinnost motorů má označení IE1, se zvýšenou účinností IE2, s vysokou účinností IE3 a velmi vysokou účinností IE4. Společnost Siemens o.z. Mohelnice vyrábí motory všech tříd. Standardně vyráběné motory jsou však vyráběné v třídě účinnosti IE2. [3]

### 3.2 Blokové schéma výroby asynchronního motoru



Obr.č. 6- blokové schéma výroby asynchronního motoru v Siemens s.r.o.

Výroba jednotlivých komponentů je rozdělena na výrobní operace. Pro každou výrobní operaci jsou vytvořeny čtyři základní výrobní dokumenty:

- Výkresová dokumentace
- Technologický postup
- Kontrolní a zkušební postup
- Výrobní plány, materiálový kusovník

### 3.3 Stručný popis výroby as. motoru

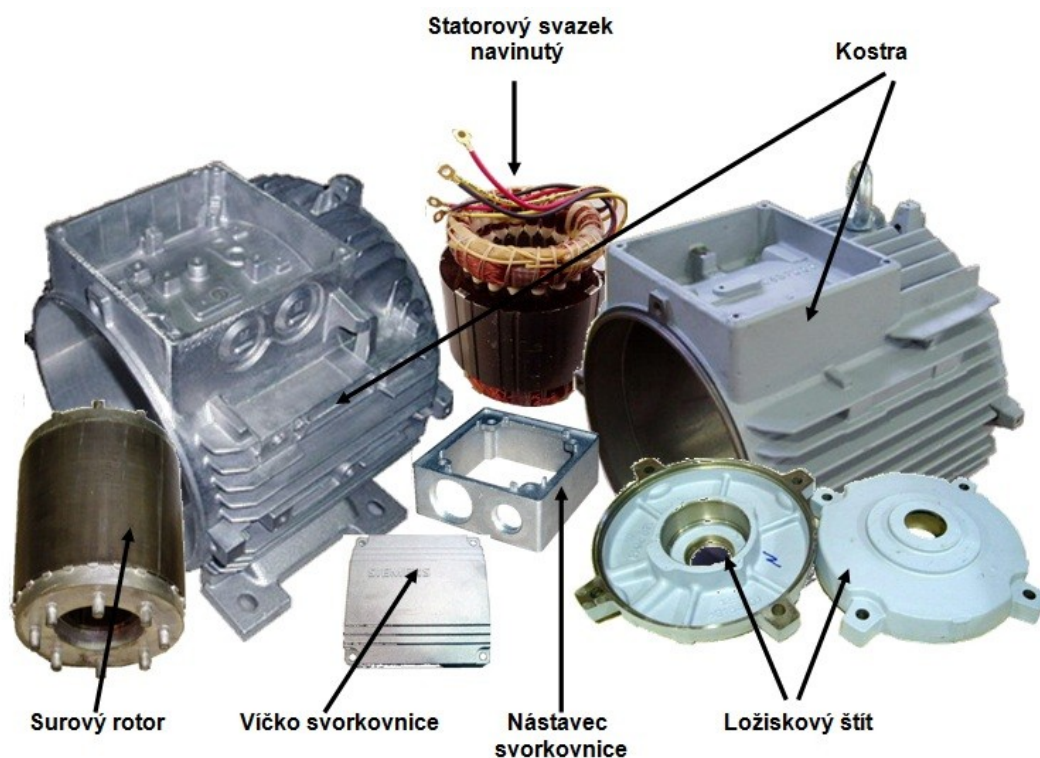
Základní částí elektromotoru je jeho tzv. magnetický obvod, který se skládá ze statoru a rotoru. Stator elektromotoru je tvořen ze statorových svazků, tzv. paketů s drážkami. Do něj se vkládá statorové vinutí. Mezi statorový paket a vinutí se jako izolační materiál vkládá izolační fólie. Statorové vinutí je tvořeno cívkami, které jsou navinuty z měděného smaltovaného

vodiče. Cívky jsou vkládány do drážek paketu a poté vhodným způsobem pospojovány. Konce pospojovaných cívek mají vyvedené tzv. přívodní vodiče a celý svazek je poté impregnován izolačním lakem.

Další částí je rotor, který je tvořen rotorovým paketem. Do drážek rotorového paketu je vstříknut roztavený hliník. Motory řady 1LE, jsou vyráběny novou technologií. Buď je rotorová klec celo měděná, nebo tzv. „hybridní rotor, což znamená, do rotorových drážek jsou vkládány měděné tyče zastříknuté hliníkem. Takto vzniká kompaktní surový motor, do kterého se poté lisuje hřídel.

Dva zmíněné komponenty (stator, rotor) jsou základ pro výrobu elektromotoru na montážní lince.

Stator se následně lisuje do kostry a přívodní vodiče jsou připevněny na svorkovou desku. Hřídel rotoru se pak nalisováním opatří o ložiska. Na jedno z ložisek je nasunut ložiskový štít a poté se tento celek vsune do statoru s kostrou a štít je ke kostře motoru přišroubován. Na druhé straně je ložisko opatřeno druhým ložiskovým štítem a přišroubováno ke kostře. Motor se poté opatří ventilátorem a krytem ventilátoru. Motor je pak připojen na elektrickou síť a ozkoušen. Motor se opatří výkonnostními štítky, je nalakován a poté zabalen k expedici. [3]



Obr.č. 7- Komponenty elektromotoru



### 3.4 Výroba komponentů elektromotoru

#### 3.4.1 Statorový svazek nenavinutý

Statorové plechy, obrázek.č.8, jsou základem statorového svazku, nenavinutého zobrazeného na obrázku .č.9. Statorové plechy se lisují stejně jako rotorové plechy, na obrázku č.10, na postupových nástrojích umístěných ve velkotonážních lisech, které jsou na obrázku č.11. [3]



Obr.č. 8- statorové plechy



Obr.č. 9- Statorový svazek nenavinutý

Pro výrobu magnetických obvodů elektromotorů se používají magneticky „měkké“ plechy obvykle o tloušťce 0,5mm nebo 0,65mm oboustranně elektricky odizolovány lakem a jsou speciálně vyráběné pro tyto účely. [3]

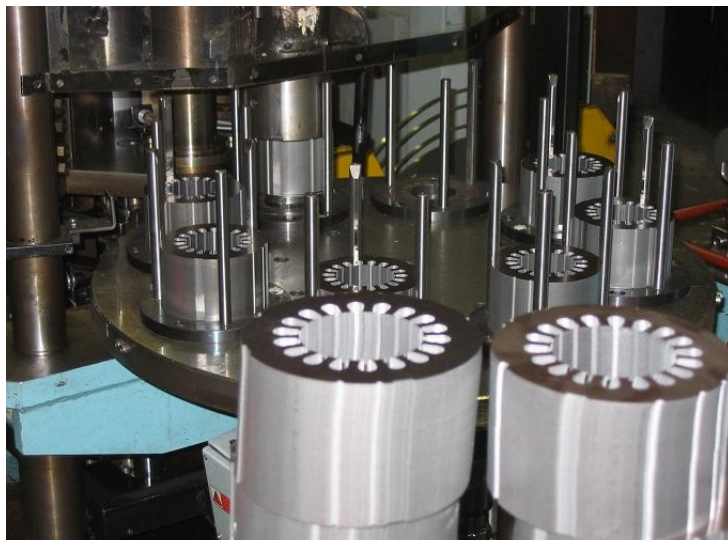


**Obr.č. 10- Rotorové plechy**



**Obr.č. 11- Lis pro výrobu statorových a rotorových plechů**

Kvůli ztrátám tzv. „vířivými magnetickými proudy“ nepoužíváme pro magnetické obvody odlitek, ale skládáme je z jednotlivých plechů. Plechy jsou rovnány v paketačních strojích, kde je přesně odvážen počet plechů, které odpovídají délce statorového paketu. Poté je lis stlačí a několika sponami jsou zafixovány tak, aby tvořili statorový svazek. Spony jsou vtlačovány v paketačním stroji do rybinovitých drážek, které jsou na okraji statorových plechů. Statorové plechy k sobě někteří výrobci lepí či příčně svařují. [3]



**Obr.č. 12- Paketování satorových svazků**

Aspekty, zajišťující kvalitu při výrobě surového satoru:

- a) Použití správné kvality plechu.
- b) Dodržení přesné hmotnosti svazku, neboli délky svazku.
- c) Šetrná manipulace a ukládání do přepravních boxů.
- d) Vizualní kontrola, zda neodstávají satorové zuby na svazku a urovnání satorových plechů. [3]

### **3.4.2 Surový rotor**

Jako u satoru, jsou podobně základem plechy. Rotorové plechy na obrázku.č.10, se vyrábí z jednotlivě odizolovaných plechů stejně jako u satoru.

Po vylišování jsou rotorové plechy vychystány do paketů vážením na rovnacích strojích. Aby se pakety nerozházely, zajišťují se tzv. „Pomocným trnem” ještě před vložením do stříkacího lisu na obrázku .č.13. Pakety se předem srovnávají do šroubovice, aby motory měli minimální hlučnost (tzv. „elektromagnetický hluk”).

V lisech se do drážek rotoru zastříkne tekutý hliník(cca 750°C) pod vysokým tlakem. Tak se uvnitř rotoru vytváří hliníková klec, která se uzavírá tzv. „zkratovacími kroužky”. Na nich jsou předlity vyvažovací kolíky, sloužící k dynamickému vyvážení celého rotoru. Toto řešení rotorového vinutí odstříknutého z hliníku dalo vzniknout tomuto typu as. Motoru s rotorem nakrátko. Tím, že jeho rotační část, je velmi jednoduchá, je celý motor velmi spolehlivý.

Při výrobě „hybridních” rotorů se do drážek rotoru vkládají rotorové tyče z mědi a proti posunutí jsou zajištěny fixačním drátem. Poté se odlijí zkratovací kroužky. Vznikne tak surový rotor, který je vyobrazen obrázku.č.14. [3]





**Obr.č. 13- Vstřikovací lis**

Aspekty, zajišťující kvalitu při výrobě surového statoru:

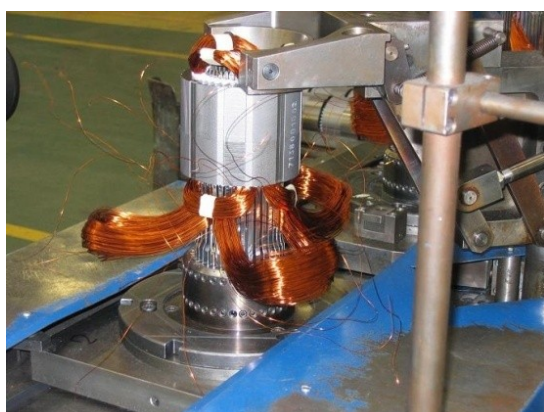
- a) Použití správné kvality plechů.
- b) Dodržení hmotnosti svazku, tudíž i dodržení délky.
- c) Použití správného trnu, který zajistí správné natočení drážek.
- d) Natočení drážek musí být rovnoměrné bez odskoků.
- e) Vizuelní kontrola, zda je rotor kompaktně odlitý. [3]



**Obr.č. 14- Surový rotor**

### 3.4.3 Statorový svazek navinutý

Statorový svazek, který nazýváme také paket, se musí opatřit izolací před samotným navíjením. K tomuto účelu slouží drážkovací automaty, které vkládají na dno drážek drážkovou izolaci. Izolace na dně drážek zabraňuje, aby se smaltovaná izolace z měděných drátů neprodřela o hrany statorových plechů, a tím pádem nedošlo k průrazu elektrického proudu. Do drážek statorového svazku je poté vkládáno vinutí. Vinutí je tvořeno soustřednými cívkami. Cívky se do statorového paktu „zatahují“ buď strojně jak vidíme na obrázku č.15, nebo jsou vkládány ručně viz. obrázek č.16. Pro různé typy motorů existuje několik stovek typů vinutí. Složitější vinutí jsou vkládána ručně a ta jednodušší se „zatahují“ strojně. [3]



Obr.č. 15- Strojní „zatahování“ vinutí



Obr.č. 16- Ruční vkládání vinutí

Po vložení všech cívek vinutí, přičemž každá fáze má svoji soustavu vinutí, je mezi jednotlivé cívky vkládána mezifázová izolace. Izolace zabraňuje při provozu elektrickému průrazu mezi fázemi a motor tak má delší životnost. [3]



Obr.č. 17- Kompletace statorového svazku



Dále se v navijárně propojí cívky jedné fáze mezi sebou a přiletují přívodní vodiče. Přes svařená místa jsou navlečeny izolační trubky a přívodní vodiče s ostatními sváry jsou srovnány na tzv. čele vinutí a pevně staženy („obšity“) tepelně odolným motouzem.

Na závěr se čela statorového svazku vytvarují v tvarovacích miskách pod lisem, aby splnily předepsaný rozměr a bez problémů mohla být zalisována do kostry. Z důvodu bezpečnosti je předepsána minimální vzdálenost mezi čelem vinutí a kostrou. Velice důležitá operace, která následuje je elektrické zkoušení svazku. Měří se zde beletrický odpor všech fází, zkouška směru otáčení a zkouška tzv. vysokým napětím. [3]



Obr.č. 18- elektrická zkouška (ruční)



Obr.č. 19- el. zkouška (strojní)

Když je svazek řádně ozkoušen, provede se na navinutém svazku poslední operace, kterou je impregnace. Impregnace je prováděna ponořením celého svazku do impregnační lázně a následným tepelným vytvrzením. Je možnost použít i jinou technologii jako je zakapávání a vytvrzení UV zářením. Impregnace zlepšuje elektrickou odolnost celého izolačního systému svazku a také slouží k mechanickému zpevnění. Po impregnaci jsou svazky připraveny k lisování do kostry. [3]



Obr.č. 20- máčení v impregnaci



Obr.č. 21- vytvrzení pomocí UV

Aspekty určující kvalitu při výrobě statorového svazu navinutého:

- a) Použití správného typu svazku dle výrobního plánu
  - b) Vizuální kontrola správného naizolování svazku
  - c) Kontrola použití správného průměru drátu
  - d) Po zatažení nebo vložení svazku nesmí dráty tvořit smyčky
  - e) Pečlivé vložení mezifázové izolace a kvalitní provedení sváru cívek i přívodních vodičů
  - f) Po obšití a vytvarování čel, se nesmí fáze navzájem dotýkat, cívky čel tedy nesmí tvořit tzv. optické fáze
  - g) Správná délka přívodních vodičů a jejich přišití k čelům vinutí
  - h) Změřené hodnoty odporů musí odpovídat předepsaným hodnotám, musí být dodržena symetrie odporů mezi jednotlivými fázemi. Nutno respektovat teplotu při měření svazku, jelikož hodnoty v dokumentaci jsou pro teplotu 20°C. Při odchylce o 1°C se změnění naměřená hodnota o 0,4% od předepsané hodnoty.
  - i) Zkouška VN musí být bez průrazu po dobu minimálně 1s.
  - j) Při manipulaci s ještě nenaimpregnovaným svazkem musí být šetrné, hlavně při navěšování na háky. Nesmí dojít k deformaci svazku ani k poškození izolace vodičů.
- [3]

#### 3.4.4 Výroba hřídelí

Hřídele zhotovovány z ocelových kruhových přířezů, které mají předepsaný průměr a délku. Dnes se využívá výhradně obráběcích center, které z elektronického výkresu sestaví obráběcí program. Siemens i jako většina výrobců si nechává hřídele dělat u externích dodavatelů. o.z. v Mohelnici využívá externí dodavatele především na hřídele větších motorů.

[3]



Obr.č. 22- Obráběcí centrum na výrobu hřídelí

Aspekty tvořící kvalitu při výrobě hřídelí:

- Použití správné jakosti přířezu.
- Dodržení rozměrů dle příslušného výkresu, použití správného měřidla dle metodiky měření.
- Hrany bez nebezpečných otřepů. [3]

### 3.4.5 Rotor kompletní

Nejdříve zalisujeme hřídele do surového rotor, které se provádí na vertikálním lisu za pomoci lisovacích přípravků na obrázku č.23. [3]



Obr.č. 23- lisování hřídelí do rotoru



Obr.č. 24- vyvažování rotoru

Hřídel se po zalisování axiálně rovná, soustruží se povrch rotoru na předepsaný průměr, aby byla dosažena správná vzduchová mezera. Vzduchová mezera se pohybuje u asynchronních motorů mezi 0,2 až 1mm a má zásadní vliv na elektrické parametry motoru.

Konečnou operací je dynamické vyvážení rotoru patrné na obrázku č.24. Vyvažování je prováděno na speciálních vyvažovacích strojích. Rotor se vyvažuje přidáním vyvažovacích podložek na kolíky zkratovacích kroužků rotoru. Fixovány jsou roztemováním kolíků a takto připravený rotor je připraven k finální montáži celého motoru. [3]

Aspekty určující kvalitu při výrobě kompletního rotoru:

- Použití správných lisovacích přípravků.
- Kontrola průměru rotoru a jeho správné obrobení.
- Kontrola správného vyvážení rotoru. Pokud by došlo k použití velkého počtu vyvažovacích podložek, je to známka špatně odlitého rotoru.
- Dostatečné zafixování vyvažovacích podložek. [3]



### 3.4.6 Stator v kostře

Navinutí stator se do kostry lisuje zpravidla dvěma technologiemi. Když je kostra vyrobena z hliníkové slitiny, je nejprve nahřata (cca 250°C), aby se zvětšil její vnitřní průměr. Statorový svazek, který je již navinutý, se vloží do kostry volně a po zchladnutí se kostra stáhne a svazek je v ní pevně fixován, jak jde vidět na obrázkuč.25. Další technologií u kostry vyrobené z šedé litiny je lisování statoru do kostry s přesahem. U hliníkových koster se lisování nepoužívá, jelikož měkký hliník se při lisování zadírá. [3]



Obr.č. 25- vkládání statoru do nahřáté hliníkové kostry

Po zalisování svazku v kostře musí dojít k soustružení osazení kostry (tzv. „falc“) jako dosedací plochy ložiskového štítu. Soustružení se provádí nasazením svazku na rozpínací trn a poté dojde k osoustružení, nebo ofrézování osazení na kostře. U litinových koster osově výšky 180 a 200mm se toto neprovádí, jelikož kostra je už kompletní a obrobena „na hotovo“. Konečnou operací je frézování patek u motorů s patkami tak, aby měl motor příslušnou osovou výšku v předepsané toleranci. [3]

Aspekty určující kvalitu při výrobě statoru v kostře:

- Použití správného lisovacího přípravku
- Kontrola zda na svazku nejsou zbytky (kapky) impregnačního laku. Ty se musí před zalisováním odstranit.
- Šetrné protažení vodičů do místa svorkovnice, tak aby nedošlo k poruše izolace
- Dodržení všech opracovaných průměrů
- Aby do prostoru vinutí a svorkovnice, nevnikly kovové špony, musí dojít k důkladnému zakrytování a poté očištění vyfoukáním. [3]

### 3.4.7 Kostra

Kostra elektromotoru má funkce:

- a) Odvod tepla ze statorového svazku pomocí své plochy, která zvětšena pomocí žebrování.
- b) Přimontovávají se k ní ložiskové štíty, svorková deska, patky motoru a kryt ventilátoru. [3]

Kostra je většinou vyrobena z hliníkových slitin, což se týče menších motorů, nebo z šedé litiny. Důležitým parametrem po odlití kostry je její vnitřní průměr, ten udává dobrý odvod tepla ze statorového svazku. Hliníkové kostry jsou odlity přímo bez opracování, ale u litinových se obrábí jejich vnitřní průměr. [3]

### 3.4.8 Ložiskové štíty

Ložiskové štíty zajišťují uložení rotoru v motoru tak, aby se rotor mohl otáčet. Může mít také funkci připevnění motoru k hnanému zařízení jako tzv. přírubový štít. Štíty jsou vyráběny z hliníkových slitin nebo šedé litiny. Jejich obrobění, neboli uložení pro ložisko, vytvoření osazení k připevnění ke kostře je vyrobeno velice přesně. Tolerance může být pouze v jednotkách mikrometrů a tyto operace provádí programově řízená obráběcí centra. Výrobci elektromotorů si tyto obráběcí operace nechávají dělat externě. [3]

#### Drobné díly elektromotoru pro finální montáž (nakupované)

- a) **Ventilátor**- slouží k ventilaci motoru. Většinou je vyroben z plastické hmoty, nebo výjimečně z uhlíkových slitin pro speciální účely. Je proveden v tzv. radiálním provedení, což znamená, že je určen pro oba směry točení motoru.
- b) **Kryt ventilátoru**- usměrňuje chladicí vzduch na kostru. Je vyráběn tvářením z hlubokotažného plechu. Nyní se používají i kryty plastové pro řadu 1LE.
- c) **Svorkovnice**- je určena k připojení přívodních vodičů z motoru a připojení napájecího kabelu. Většinou je vyrobena z tvrdého plastu, v kterém jsou zalisovány šroubové základy- kolíky.
- d) **Nástavec svorkovnice a víčko svorkovnice**- slouží jako zakrytí svorkovnice a nástavec je opatřen závitovými průchozími otvory pro našroubování kabelové průchodky.
- e) **Ložiska**- Pro většinu elektromotorů se použijí jednořadá, uzavřená kuličková ložiska. Montují se ložiska na požadavek zákazníka, pro vertikální použití, jednosměrná ložiska, uzavřená s celoživotní tukovou náplní, domazávací ložiska apod.
- f) **Spojovací materiál**- používají se normalizované galvanicky pokovované metrické šrouby a matice. [3]

### 3.4.9 Finální montáž elektromotoru

Veškeré díly, které byly uvedeny v předchozích kapitolách jsou přemístěny k montážním pracovištím, tzv. montážním pasům na obrázku.č.26 a 27, kde je motor postupně zkompletován.



Obr.č. 26- Montážní linka č.1



Obr.č. 27- Montážní linka č.2

Nejdříve se přimontuje svorkovnice do kostry motoru a následně jsou připevněny přívodní vodiče z motoru na svorkovnici. Následně se lisují ložiska k rotoru, kdy tato operace na malých lisech a velmi obezřetně tak, aby nedošlo ke zkřížení ložiska (zvýšený hluk motoru). Na ventilátorovou stranu se pak nasune ložiskový štít. Uložení štítu je suvné a musí být velice přesné, aby motor nebyl hlučný a měl dobrou životnost.

Štít je opatřen těsnícím kroužkem, aby do motoru nevnikala vlhkost. Štít se pak vsune do statoru v kostře, kde je k ní připevněn šrouby. Dále se na ložisko nasune druhý ložiskový štít, nebo příruba (dle použití motoru) a připevní se šrouby ke kostře. Dále se nalisuje ventilátor u menších motorů a u velkých jsou fixovány přes pero a proti axiálnímu pohybu jsou zajištěny pojistným kroužkem. Poté je připevněn kryt ventilátoru a tím je kompletace motoru hotová a motor je prakticky funkční. [3]

Důležitá je však část, kdy se motor musí funkčně odzkoušet, neboli ověřit jeho tzv. „Směrné hodnoty“ viz obrázek č.28. Touto zkouškou se ověřují elektrické parametry elektromotoru, které jsou definovány normou:

- a) Elektrický odpor fází.
- b) Proud naprázdno.
- c) Příkon motoru naprázdno.
- d) Zkouška vysokým napětím (důležitá z hlediska bezpečnosti).
- e) Zkouška  $U_k$  při zablokovaném rotoru (neprovádí se u všech motorů).
- f) Zkoušky vestavných prvků (tepelná čidla, vyhřívání vinutí)- pokud jsou zabudovány.

[3]

- Pokud všechny zkoušky proběhnou bez závad je motor opatřen výkonovým štítkem a prostor svorkovnice uzavřen víčkem, které je opatřeno těsněním (zábrana vniku vlhkosti) [3]



Obr.č. 28- elektrická zkouška motoru

#### 3.4.10 Povrchová úprava elektromotoru

Většina elektromotorů je povrchově upravována tak, že ve stříkacích kabinkách na celý povrch nanáší barva stříkáním. Většinou je odstín nástřiku v tzv. firemní barvě, ale mnoho zákazníků si volí odstín barvy samo.

Výrobci používají několik desítek odstínů barev. Existují i speciální nátěrové systémy, např. pro motory pracující na moři, pro potravinářský průmysl atd. Motor je poté přesunut na pověšeném dopravníku do vysoušecího tunelu, kde je při teplotě cca 80°C dosušen. [3]





**Obr.č. 29- povrchová úprava (nástřik laku)**

#### **3.4.11 Balení a expedice**

Když motory projdou povrchovou úpravou, zkontroluje se kvalita nástřiku a jsou svěřeny z dopravníku a připraveny k zabalení. Balení má mnoho způsobů od balení do lepenkových krabic až po volné uložení na paletu. U všech motorů je samozřejmě i návod, aby zákazník věděl, jak má o motor pečovat a jak má být správně zapojen. [3]



**Obr.č. 30- balení a expedice**

**Pozn.:**

Existuje celá řada mechanických a elektrických modifikací elektromotoru s rotorem nakrátko. Je možnost vybavit motor různými teplotními čidly, vestavit elektrickou brzdu, upevnit snímače otáček a vyrobit provedení motoru na více přepínatelných otáček. Připojení motoru lze připravit pro různá napájecí napětí, nebo pro napájení motoru z jednofázové sítě a další. Pro všeobecné použití výrobci motorů vyrábějí několik tisíc různých variant. V předchozích kapitolách nebylo cílem se zabývat všemi modifikacemi, ale stručně popsat postup výroby základního typu Asynchronního elektromotoru s rotorem nakrátko, vyráběném v Siemens s.r.o. o.z. Mohelnice. [3]

## 4 Třídy účinností as. motorů

### 4.1 sjednocení tříd účinnosti

Na světě existují rozdílné normy pro účinnost asynchronních motorů a proto k sjednocení pomohla mezinárodní norma IEC 30034-30:2008 (Rotační elektrické stroje – část 30: Třídy účinnosti jednofázových trojfázových asynchronních motorů nakrátko (kód IE)). Norma stanovuje, s účinností od roku 2008, nové třídy účinnosti pro nízkonapěťové asynchronní motory. Nově musíme přídatné ztráty měřit a nejsou stanovovány paušálně. [6]

### 4.2 Třídy účinnosti IE

Rozdělení a názvy účinnostních tříd jsou následovné:

IE= International Energy- efficiency Class

- IE1 standardní (Standard efficiency)
- IE2 zvýšená účinnost (High efficiency)
- IE3 vysoká účinnost (premium efficiency) [6]

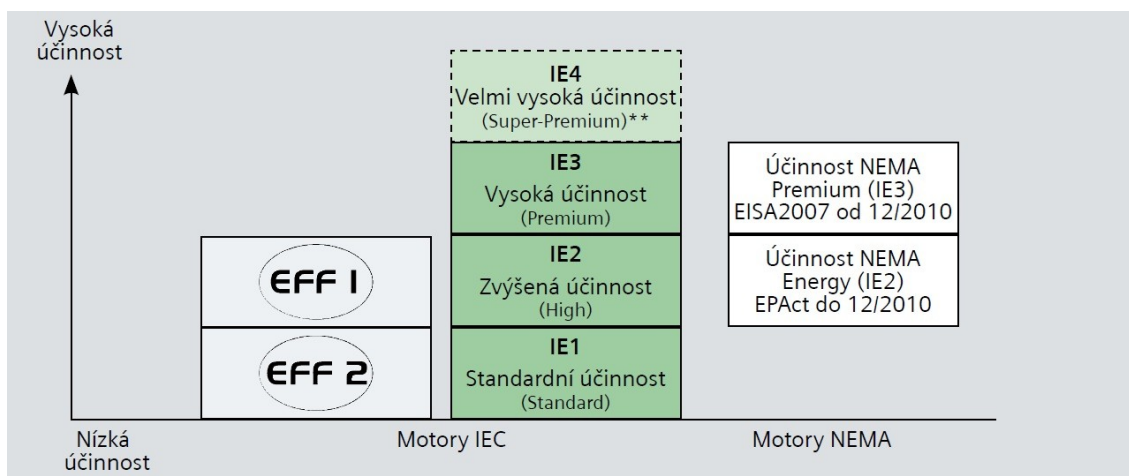
### 4.3 Měřicí metoda podle IEC 60034-2-2:2007

Ztráty (0,5%) již nadále nejsou uvažované paušálně při měření účinnosti, ale jsou měřené podle IEC 60034-2-2:2007. Touto změnou klesne nominální účinnost z EFF1 na IE2 resp. EFF2 na IE1, ačkoli se na motoru nezmění nic technicky ani fyzicky.

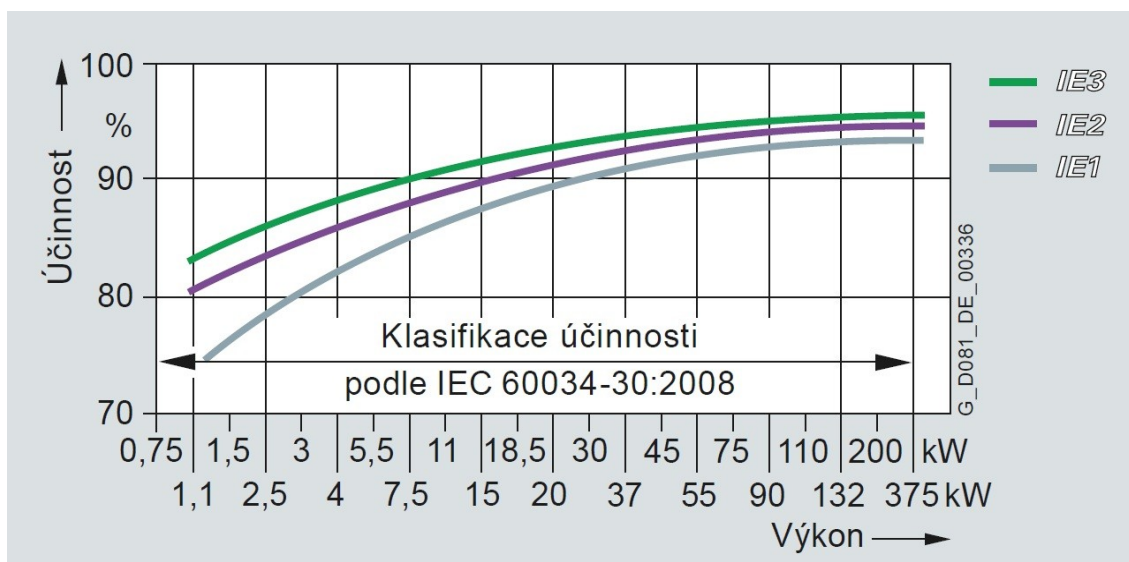
**Dříve:  $P_{LL} = 0,5\%$  z  $P$  (příkon)**

**Nyní:  $P_{LL}$  = individuální měření**

$P_{LL}$  = přídatné ztráty



Obr.č. 31- třídy účinností IE



Obr.č. 32- IE dle výkonu a účinnosti

Tab.č. 2- příklady hodnot účinností určených aktuální a starou metodou

	EFF-metoda (paušálně stanovené přídatné ztráty) EN/IEC 60034-2:1996, 50 Hz	Přídavné ztráty určené metodou podle IEC 60034-2-1:2007, 50 Hz	Přídavné ztráty určené metodou podle IEC 60034-2-1:2007, 60 Hz
5,5 kW, 4-póly	89,20%	87,70%	89,50%
45 kW, 4-póly	93,90%	93,10%	93,60%
110 kW, 4-póly	není definovaná	94,50%	95,00%



Evropská unie schvaluje zákony, jejichž cílem je rozsáhlé šetření energie a snížení produkce CO<sub>2</sub>. Úsporu energie zajišťuje v průmyslovém prostředí směrnice EU číslo 640/2009. Směrnice 640/2009 je platná ve všech státech evropského hospodářského prostoru. [6]

#### 4.3.1 Nejdůležitější změny

Tab.č. 3- porovnání změn

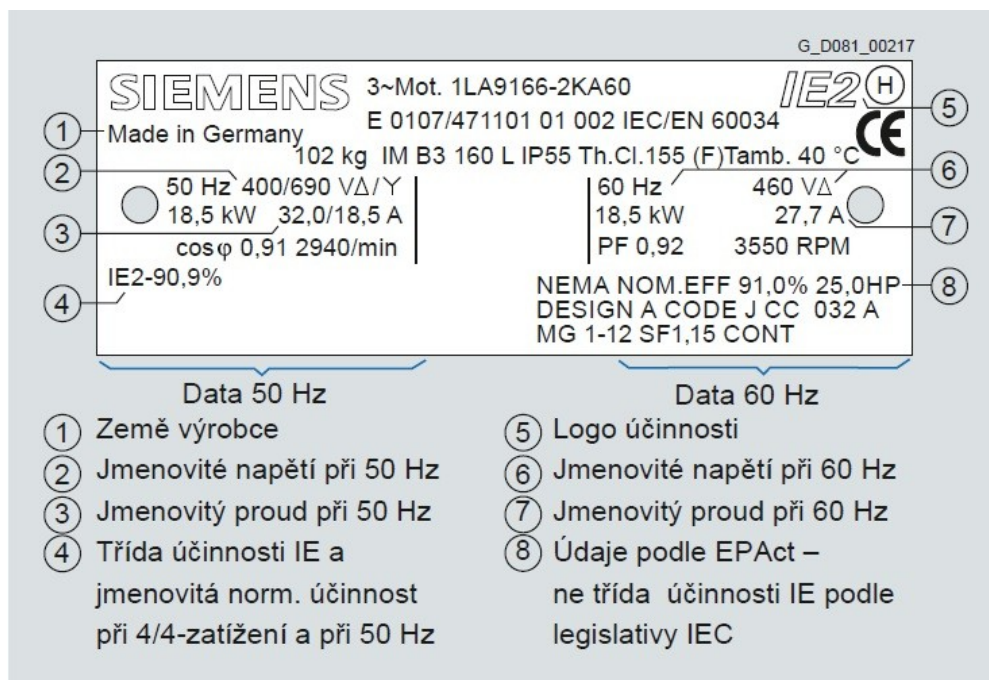
	CEMEP dobrovolný souhlas EU	Směrnice EU čís.640/2009 schválena 07/2009, založena na normě IEC 60034-30
<b>Popis</b>	Dobrovolná dohoda mezi Radou EU a evropským svazem výrobců CEMEP	Směrnice EU je platná ve všech státech EU. Základem pro výpočet ztrát a určení účinnosti je norma IEC 60034-2-1:2007
<b>Počet pólů</b>	2, 4	2, 4, 6
<b>Rozsah výkonů</b>	1,1 ... 90 kW	0,75 ... 375 kW
<b>Třídy účinnosti</b>	EFF3 – standardní účinnost EFF2 – zvýšená účinnost EFF1 – vysoká účinnost	IE1 – standardní účinnost (Standard efficiency) IE2 – zvýšená účinnost (High efficiency) IE3 – vysoká účinnost (Premium efficiency)
<b>Napětí</b>	400 V, 50 Hz	< 1000 V, 50/60 Hz
<b>Ochrana krytem</b>	IP5X	Všechna
<b>Motory s brzdou</b>	NE	Podle dohody
<b>Motory převodové</b>	NE	ANO
<b>Motory Ex</b>	NE	Směrnice EU – NE ; IEC 60034-30 – ANO (ale provedení Ex má vždy vyšší prioritu)
<b>Platnost</b>	Dobrovolná dohoda bude po provedení příslušných technickoorganizačních opatření zrušená	Norma IEC 60034-30, platná od 10/ 2008 je zavedená v působnost směrnicí EU 16.06.2011. To znamená, že v evropském hospodářském prostoru výrobci nesmí motory třídy účinnosti IE1 od tohoto data již vyrábět a uvádět na trh.

Změnou technických údajů došlo i k přizpůsobení výkonnostního štítku motorů. Nový štítek by měl být přehlednější a čitelnější příklad na obrázku č.33, který je níže. Jednotlivé údaje se u motorů do velikosti 315L uvádějí takto:

- Třída účinnosti je umístěna v pravém horním rohu na výkonnostním štítku. Neudává se již žádná norma, ale jen IE1, IE2 nebo IE3.
- Nové hodnotě účinnosti také odpovídá jmenovitý proud.
- „Údaj o rozsahu napětí na novém výkonovém štítku není uvedený. To vylučují uvedené jmenovité napětí. Pokud není uvedeno jinak, platí pro napětí norma EN60034-1, oblast B, t.j. tolerance  $\pm 10\%$ . Upozornění: Přechodné období pro harmonizaci jmenovitých

napětí uvnitř EU skončilo 01.01.2008. Od té doby platí přípustná tolerance 230/400V  $\pm 10\%$ , 50 Hz resp. 400/690 V  $\pm 10\%$ , 50 Hz“ [6]

- Na štítku se také uvádí stát výrobce například: „Made in Czech Rep.“. U nevýbušných motorů je výjimka, zde se musí udávat i adresa výrobce. [6]



Obr.č. 33- příklad výkonového štítku IE2, hliníková kostra, motor 18,5kW

#### 4.3.2 Termíny působnosti změn

**Od 16.6.2011-** Je nutné dodržení uzákoněného požadavku směrnice EU o využití as. motorů, které mají zatížení S1 s třídou účinnosti minimálně IE2.

**Od 1.1.2015-** Nutné dodržení uzákoněného požadavku, kdy pro motory s výkony od 7,5kW do 375kW musí plnit třídu účinnosti minimálně IE3, nebo motory mohou plnit IE2 s měničem kmitočtu.

**Od 1.1.2017-** Nutné dodržení uzákoněného požadavku, kdy pro motory s výkony od 0,75kW do 375kW musí plnit třídu účinnosti minimálně IE3, nebo motory mohou plnit IE2 s měničem kmitočtu. [6]

#### 4.3.3 Výjimky ve směrnicích EU

- Motory, které mohou být při provozu zcela ponořené do kapaliny a jsou na to konstruované, nemusí plnit směrnici EU.

- b) Motory, které jsou vestavovány do různých výrobků. Pokud motor vestavíme do čerpadla, převodovky, ventilátoru či kompresoru, nemusí plnit směrnici EU. Podmínkou však je, že energetická účinnost je závislá na těchto výrobcích.
- c) Motory, které mají určený provoz v těchto určených podmínkách:
- Nadmořská výška větší než 1000m nad mořem
  - Teplota okolí větší než +40°C
  - Teplota okolí velmi vysoká až +400°C
  - Teplota okolí nižší než -15°C
  - Teplota chladicí kapaliny (na vstupu) je vyšší než 25°C, nebo nižší jak 5°C
  - Nebezpečí výbuchu (směrnice evropského parlamentu a rady č.94/ES)
- d) Motory brzdové a však neplatí pro motory s těmito podmínkami:
- Motory 2p=8
  - Motory přepínatelné
  - Motory pro synchronní provoz
  - Motory pro druh zatížení S2 až S9
  - Motory jednofázové
  - Motory vyráběné pro napájení z měničů kmitočtu (podle IEC 60034-25) [6]

## 4.4 Vliv Mechanických ztrát

### 4.4.1 Ztráty všeobecně

Část přivedeného výkonu (příkonu), se při práci stroje spotřebuje na oteplení vodičů, přemagnetování magnetického obvodu, vytvoření proudu chladicího vzduchu, tření částí, které se otáčí o vzduch, tření v ložiscích, v těsnících prvcích na hřídeli a podobně. Tuto část výkonu nazýváme ztráty, jelikož se jakoby se tato energie ztrácí při elektromechanické přeměně energie.

V elektrických strojích se ztráty rozdělují na ztráty hlavní nebo dodatečné také nazývané přídatné. Hlavní ztráty u elektrických strojů jsou elektrické, zahrnující ztráty ve vinutích při průchodu proudu, nazývané také ztráty Jouleho. Dalšími jsou ztráty v kluzných kontaktech (kartáče-kroužky nebo kartáče-komutátor), což není případ našeho měřeného motoru. Dále pak ztráty v železe, které vznikají při přemagnetování magnetického obvodu a pro nás nejzajímavější ztráty mechanické a ventilační. [9]

### 4.4.2 Mechanické a ventilační ztráty

Všeobecně popsáno, tyto ztráty zahrnují veškeré ztráty třením otáčejících se částí o vzduch, také ztráty ventilátoru, který vytváří při svém otáčení proud chladicího vzduchu a ztráty v ložiscích. Vzorce, které se využívají pro výpočet jednotlivých ztrát, jsou z experimentálně určených údajů. Tyto vzorce vyjadřují závislost z těchto údajů na konstrukci stroje, otáčkách a spousty dalších faktorů. Když se vypočítávají stroje, jejichž konstrukce se příliš neliší od

běžných typů, je možnost použít empirické vzorce. Ty udávají přímo součet ventilačních a mechanických ztrát. Vzorce takto použité jsou vytvořeny pro konkrétní druhy a typy konstrukčních uspořádání strojů. [9]

U každého stroje je snahou konstruktérů navrhnout takový stroj, který bude mít co nejnižší ztráty a to jak hlavní tak i přídatné. Mechanické ztráty jsou způsobeny třením. Jakékoliv tření dvou na sebe dosedajících materiálů způsobuje jejich opotřebení a následné zahřívání vlivem tření. Ventilační ztráty samozřejmě zatěžují při kontaktu ventilátoru se vzduchem hřídel a zatěžují tak motor. Ale motor samozřejmě musí být proudem vzduchu, který ventilátor vytváří chlazen, čímž se snaží zabránit přehřátí motoru a tím snížení jeho životnosti, či totálnímu zničení. Ložiska a těsnící hřídelové prvky mají největší vliv na mechanické ztráty díky tření. A jak víme logicky veškeré pohyblivé prvky a především ložiska a podobné prvky mají největší vliv na celkovou životnost motoru, která je dána především opotřebovaná pohyblivých částí. V praktických měřeních bychom měli dokázat předpokládaný vliv mechanických ztrát na celkovou účinnost stroje. Mechanické ztráty by měly tedy být jedním s rozhodujících prvků, které určí konečnou velikost účinnosti na měřeném motoru a především jak moc je daný těsnící hřídelový prvek ovlivňuje.

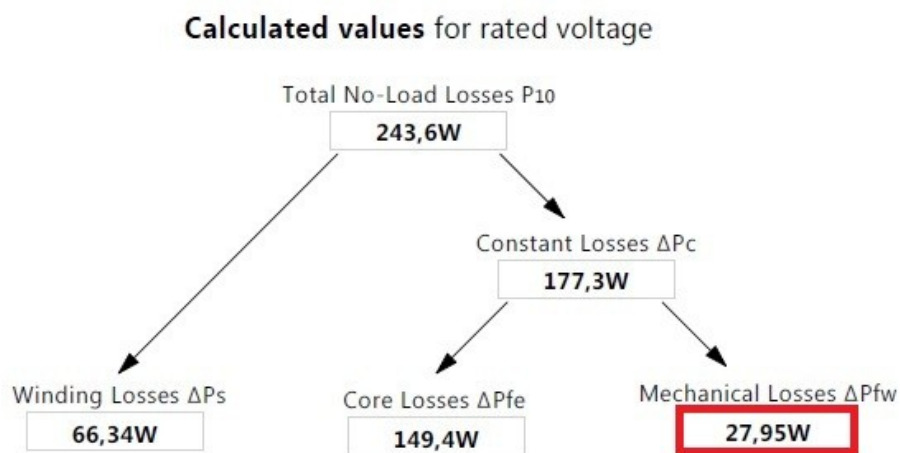
#### 4.4.3 Měření ztrát v ložiscích bez ventilátoru na měřeném motoru

SIEMENS		TEST REPORT		
<b>LABORATORY</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D 3 1</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		<b>MOTOR TYPE</b> <b>1AV2131A</b> <b>ORDER CODE</b> <b>1LE1001-1CA134</b> <b>CUSTOMER</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		
<b>Originator</b> <b>Rajčula Jiří</b>	<b>Call number</b> <b>+420 583 47 2350</b>	<b>Pages</b> <b>4</b>	<b>Annex</b> <b>0</b>	<b>Date</b> <b>27.4.2015</b>
<b>Reference</b> 	<b>Test ID</b> <b>B15132S-210-2</b>			

Obr.č. 34- hlavička měření ztrát v ložiscích bez ventilátoru

Na obrázku č.34 máme hlavičku protokolu, který byl vypracován k měření ztrát v ložiscích. Po změření ztrát v ložiscích, kdy se na měřeném motoru odmontoval ventilátor, se tato hodnota uložila pro další použití a budoucímu dopočtení ztrát ventilačních, které jsou součástí mechanických ztrát. V Siemens s.r.o. se měří jen mechanické ztráty celkově, a pokud chceme vědět, jak velké jsou v nich obsažené ventilační a jaké ztráty třením v ložiscích, musíme provést toto měření bez nasazeného ventilátoru. V červeném rámečku máme označeno políčko

s číslem měřeného protokolu, pro možné nalezení příslušného protokolu v přílohách, kde si podle této hlavičky a čísla můžeme zkontrolovat kompletně celý protokol.



Obr.č. 35- rozdělení ztrát

Mechanické ztráty, neboli přesněji ztráty způsobené třením v ložiscích byly změřeny s výsledkem 27,96W. Víme tedy, že ložiska bez těsnících prvků na měřeném motoru mají tyto ztráty a jelikož byl odmontován ventilátor, tak jsou to čistě ztráty v ložiscích. Ventilační ztráty budou dopočteny díky tomuto měření až v praktické části zjišťování vlivu těsnících hřídelových prvků na účinnost motoru.

## 5 Protokol z měření

Pro každé měření se vypracuje typový protokol s výsledky. Veškerá naměřená data, postupy a informace o měřeném motoru se uvedou do protokolu, který se uloží v elektronické verzi do databáze společnosti Siemens s.r.o. a v případě potřeby se vytiskne. Jako každý protokol, musí mít řádnou formu. Musí obsahovat určité prvky, data, grafy a tabulky. Každý protokol obsahuje hlavičku, která je na obrázku č.36. V hlavičce musí být uvedena laboratoř, kde proběhlo měření, „Originator“ neboli jméno zodpovědné osoby. Nesmí chybět kontakt na zodpovědnou osobu, počet příloh a stran protokolu. Nesmíme zapomenout zmínit velice důležité datum konání měření. Každý motor je řádně označen objednacím číslem, podle kterého je možno zjistit veškeré základní informace o měřeném motoru. Na obrázku č.36 je to políčko s nadpisem „ORDER CODE“. Detailně si rozebereme toto číslo v detailu pomocí tabulky č.4. Pod hlavičkou se také nachází obsah, kde je sepsán seznam a obsah stránek protokolu. Kompletní protokoly k jsou k prohlednutí v přílohách, kde je možnost si prohlédnout veškerá data, grafy, porovnání a systém sestavení protokolu o měření, včetně seznamu měřících přístrojů, který je uveden na konci protokolu.

SIEMENS		TEST REPORT			
LABORATORY		MOTOR TYPE			
Siemens AG I DT LD MF/MOH R&D 3 1 Nádražní 25 789 85 Mohelnice Czech republic		1AV2131A			
		ORDER CODE			
		1LE1001-1CA134			
		CUSTOMER			
		Siemens AG I DT LD MF/MOH R&D Nádražní 25 789 85 Mohelnice Czech republic			
Originator	Call number	Pages	Annex	Date	
Rajčula Jiří	+420 583 47 2350	16	1	6.1.2015	
Reference	Test ID				
	T151325-003-2				

Obr.č. 36- hlavička protokolu

### 5.1.1 Objednací číslo

Tab.č. 4- detail objednáčího čísla

pozice v objednacím čísle	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12	-	13
objednací číslo	1	L	E	1	0	0	1	-	1	C	A	1	3	-	4

Tab.č. 5- popis významů jednotlivých pozic u sjednávacího čísla

<b>Základní označení řad</b>
<b>1LE - Nízkonapěťové motory / standartní typ</b>
<b>Doplňující označení řad</b>
<b>1 -Řady motorů podle norem IEC (2- podle norem NEMA)</b>
<b>Provedení</b>
<b>0 - Motory pro všeobecné použití (General purpose), hliníková kostra</b>
<b>01- Motory se zvýšenou účinností (High efficiency) IE2</b>
<b>Osová výška</b>
<b>1C- 132mm</b>
<b>Počet pólů</b>
<b>A- 2-pólový</b>
<b>Jmenovitý výkon</b>
<b>1- 7,5kW</b>
<b>Číslo pro napětí</b>
<b>3- pro 50Hz= 400VΔ/690VY</b>
<b>4- pro 60Hz= 460VΔ</b>

**Vyhodnocení tabulky:**

Detailní vysvětlení celého objednacího čísla najdeme v příloze, kde máme uvedeny i jiné varianty číselných kombinací a jejich vysvětlivky. Také je možno v příloze vidět jak velká spousta kombinací motorů lze vyrobit. V tabulce č.5, máme pouze vysvětlení základních údajů motoru, který byl použit na všechna měření s jednotlivými těsníci prvky. Hodnoty, konfigurace a parametry vysvětlené v tabulce č.4, se na měřeném motoru nemění po celou dobu měření. V elektronické příloze nalezneme strukturální popis objednacího čísla pro všechny druhy motorů.

**5.1.2 Štítkové a katalogové hodnoty**

<b>SIEMENS</b>				Type certificate of 3F induction motor			
Power output :	7,500kW	Note :		Motor type :	1AV2131A		
Voltage :	400,0V	Frequency :	50,00Hz	Thermal class :	F	Order code :	1LE1001-1CA134
Current :	14,10A	Speed :	2950/min	Type of construction :	IMB3	Test ID :	T151325-003-2
Power factor :	0,870	No. Poles :	2	Degree of protection :	IP55	Specification :	58813202220034
Torque :	24,28Nm	Duty type :	S1	Frame Size :	132S	Serial No. :	3416
Efficiency :	88,1%	Line connection :	D	Max. amb. temperature :	40,00°C	Class of efficiency :	IE2, NEMA Energy

Obr.č. 37- Štítkové, katalogové hodnoty a data



Na obrázku č.37 vidíme katalogové a štítkové hodnoty. Hodnoty na obrázku uvedené nejsou hodnotami naměřenými. Vlevo v prvním sloupečku se nacházejí hodnoty uvedené na štítku, zatímco druhý a třetí sloupeček jsou hodnoty mezi sebou smíšené, tudíž některé jsou uvedeny na štítku a některé zase v katalogu. Vpravo jsou zase pouze katalogová data. V prvním rámečku máme „Power Output“ neboli výkon stroje v kW. V druhém rámečku pod ním je tzv. „Voltage“ neboli napětí ve Voltech. Následuje políčko s proudem označeno jako „Current“.

Další políčko „Power factor“ značí účinník. Políčko „Torque“ nám ukazuje štítkovou hodnotu momentu. A v budoucnu nejvíce diskutovaná hodnota v políčku „Efficiency“ je účinnost, která je hodnotou štítkovou. V dalším sloupečku máme „Frequency“ což z názvu lze již slyšet, že jde o frekvenci. Dále „No. Poles“ je počet pólů motoru a políčko „Duty type“ nám označením S1 říká, že motor je pro trvalý chod. Zapojení motoru je popsáno políčkem „Line connection“ kde písmeno D udává, že motor je zapojen do trojúhelníka. „Thermal class“ označuje políčko pro teplotní třídu motoru což je maximální teplota dovolená ve vinutí. „Type of construction“ znamená typ konstrukce motoru. Políčko „Degree of protection“ určuje třídu krytí, která je zde IP55. „Frame Size“ políčko určuje osovou výšku. „Max amb. Temperatur“ je maximální teplota okolí.

V levé straně jsou již katalogová data, přes označení motoru, jeho kód, specifikaci přes číslo protokolu námi již známé „Test ID“ až po třídu účinnosti.

Tato hlavička je obsažena v protokolu na každé straně hned na začátku tak, aby byly hodnoty hned k porovnání s naměřenými a nebylo třeba listovat rozsáhlým protokolem.

### 5.1.3 Tabulky základních naměřených a štítkových hodnot

Tab.č. 6- základní naměřené hodnoty

	Nominal value	Minimum tolerance	Maximum tolerance	Minimum value	Maximum value	Measured value	$\Delta^*$ (deviation)	Use of tolerance	Result status
$\eta$ (%)	<b>88,10</b>	<b>-1,79</b>		<b>86,315</b>		<b>89,968</b>	<b>+1,8681</b>		<b>Passed</b>
$\cos \phi$ (-)	<b>0,870</b>	<b>-0,022</b>		<b>0,84833</b>		<b>0,87134</b>	<b>+0,0013</b>		<b>Passed</b>
Sync. Speed (1/min)	<b>3000,0</b>								
Nom. Speed (1/min)	<b>2950,0</b>					<b>2951,0</b>	<b>+1,0400</b>		
slip (-)	<b>0,0167</b>	<b>-0,0033</b>	<b>+0,0033</b>	<b>0,013333</b>	<b>0,020000</b>	<b>0,016399</b>	<b>-0,0003</b>	<b>8,04%</b>	<b>Passed</b>
$T_{st}/T_n$ (-)	<b>2,20</b>	<b>-0,33</b>	<b>+0,55</b>	<b>1,8700</b>	<b>2,7500</b>	<b>2,0754</b>	<b>-0,1246</b>	<b>37,77%</b>	<b>Passed</b>
$T_{max}/T_n$ (-)	<b>3,10</b>	<b>-0,31</b>		<b>2,7900</b>		<b>3,4096</b>	<b>+0,3096</b>		<b>Passed</b>
$I_{st}/I_n$ (-)	<b>7,50</b>		<b>+1,50</b>		<b>9,0000</b>	<b>8,3983</b>	<b>+0,8983</b>	<b>59,89%</b>	<b>Passed</b>
$\Delta\theta$ 30s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>62,865</b>	<b>-17,1350</b>		<b>Passed</b>
$\Delta\theta$ 0s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>67,254</b>	<b>-12,7460</b>		

V tabulce základních naměřených hodnot, která se nachází, vždy na druhé straně protokolu najdeme základní naměřené hodnoty. Nás bude v každém typovém protokolu z měření zajímat především sloupec „Measured value“, kde se v prvním řádku nachází naměřená hodnota účinnosti. Tuto hodnotu budeme ve všech protokolech porovnávat mezi sebou a na konci zhodnotíme výsledky. Pro lepší přehled je políčko označeno červeným rámečkem, což bude platit i pro ostatní protokoly z praktických měření.



V druhém řádku máme hodnoty kosínu a pod ním synchronní otáčky. Další políčko „Nom. Speed“ jsou otáčky jmenovité. Dále následuje „slip“ neboli skluz. Dále poměr záběrného momentu ke jmenovitému v políčku „Tst/Tn“. „T max/Tn“ je poměr momentu zvratu ku jmenovitému. Ist/In je poměr záběrného proudu ku jmenovitému a poslední políčka rozdíl oteplení po 30sec a po 0s.

Některé hodnoty nejsou měřeny, jako například první sloupeček „Nominal value“ má hodnoty štítkové k porovnání s naměřenými.

Máme ve sloupečcích také minimální tolerance, maximální tolerance, minimální hodnoty, maximální hodnoty, Rozdíl od normovaných hodnot a nakonec i zeleným písmem „Passed“ napsáno zda hodnoty vyhověli normě či ne.

Tab.č. 7- tabulka měřených a vypočítaných hodnot dle norem

Measured at Un, Mn		IEC	IEEE	CSA
Voltage UN (V):	400,100	400,100	400,100	400,097
Power in PN (W):	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>
Current IN (A):	13,72	13,72	13,72	13,72
Frequency f (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed n (1/min):	2951,0	2951,0	2951,0	2951,0
Torque TN (Nm):	24,28	24,28	24,28	24,28
Power factor cos {N (-):	0,871	0,871	0,871	0,871
Slip s (%):	1,632	1,640	1,640	1,640
Winding rise temp TC § (K):	73,2	73,2	73,2	73,2
Winding rise temp HR § (K):		67,3	67,1	67,1
Core losses ΔPfe (W):	---	122,6	139,5	122,6
Stator Losses ΔPs (W):	---	449,6	443,6	449,3
Power across air gap Pδ (W):	---	7714,8	7703,9	7715,1
Rotor losses ΔPr (W):	---	127,8	127,7	126,0
Mechanical losses ΔPfw (W):	---	67,7	67,7	67,7
Stray-load losses ΔPLL (W):	---	63,6	54,6	63,4
Total losses ΔPT (W):	---	831,3	833,1	829,0
Power out P2 (W):	<b>7502,7</b>	<b>7504,3</b>	<b>7504,3</b>	<b>7504,3</b>
Efficiency η (%):	<b>90,54</b>	<b>89,97</b>	<b>89,95</b>	<b>90,00</b>

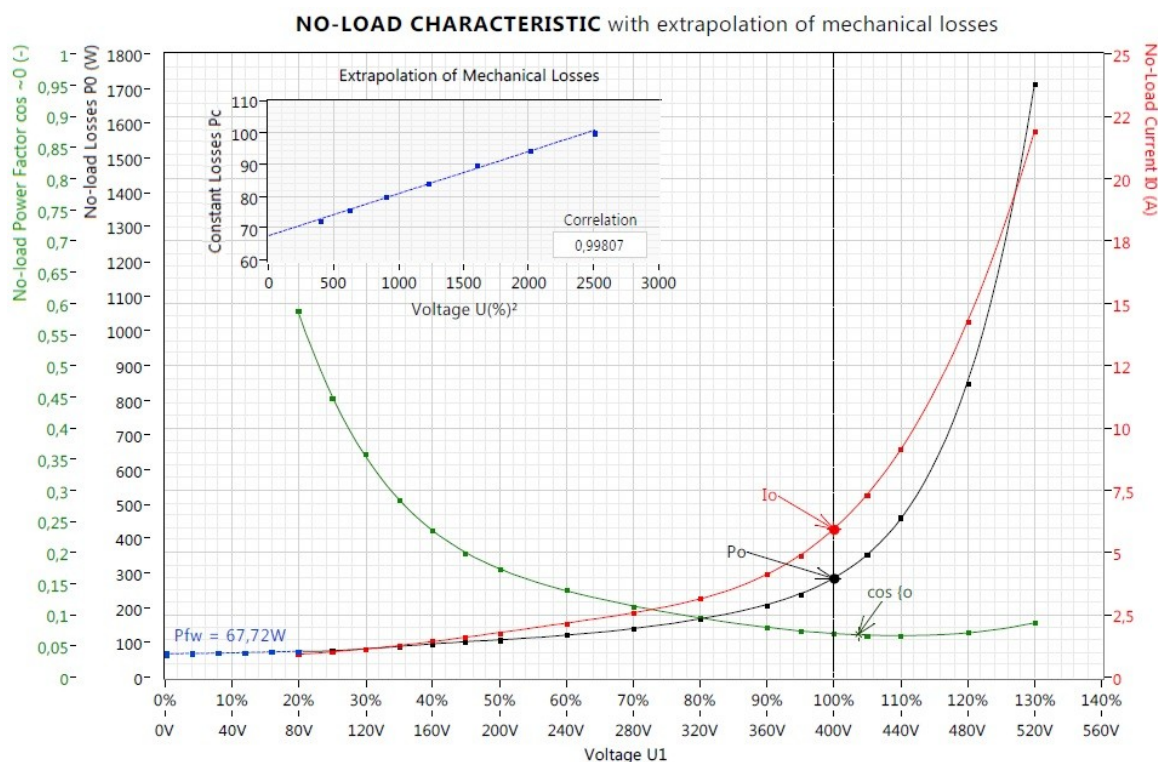
Standard:	IEC		NEMA		NEMA	
IEC IE4 Super, NEMA Super:	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum
IEC IE3 Premium, NEMA Premium:		✓		✓		✓
IEC IE2 High, NEMA Energy:	✓		✓		✓	
IEC IE1 Standart:	✓					

Tabulka č.7 nám udává přehled mezi naměřenými veličinami při jmenovitém napětí a momentu, v porovnání s normami. V následujících měřeních nás bude nejvíce zajímat sloupec s novou normou IEC a především vliv našich těsnících prvků na mechanické ztráty, které následně ovlivní celkovou účinnost. Celková účinnost stejně jako mechanické ztráty jsou označeny červeným rámečkem stejně jako u dalších měření pro snadnou orientaci. Celkovou účinnost následně budeme porovnávat s ostatními měřeními, kde budeme sledovat, který těsnící

prvek měl největší vliv na účinnost. Předpokladem je, že těsnicí prvky mají největší vliv na mechanické ztráty a tím pádem poté na celkovou účinnost. V ostatních sloupcích vidíme data přepočtená dle ostatních norem a pod tabulkou vidíme, co který sloupec z daných norem splňuje.

Ve vrchní části tabulky jsou základní veličiny napětí, proud, frekvence, otáčky a podobně. V druhé části tabulky níže, jsou veškeré ztráty. Důležitým poznatkem je, že námi sledované mechanické ztráty se však dělí na ztráty ventilátorové a v ložiscích, ale tyto ztráty budou rozebrány v dalších kapitolách.

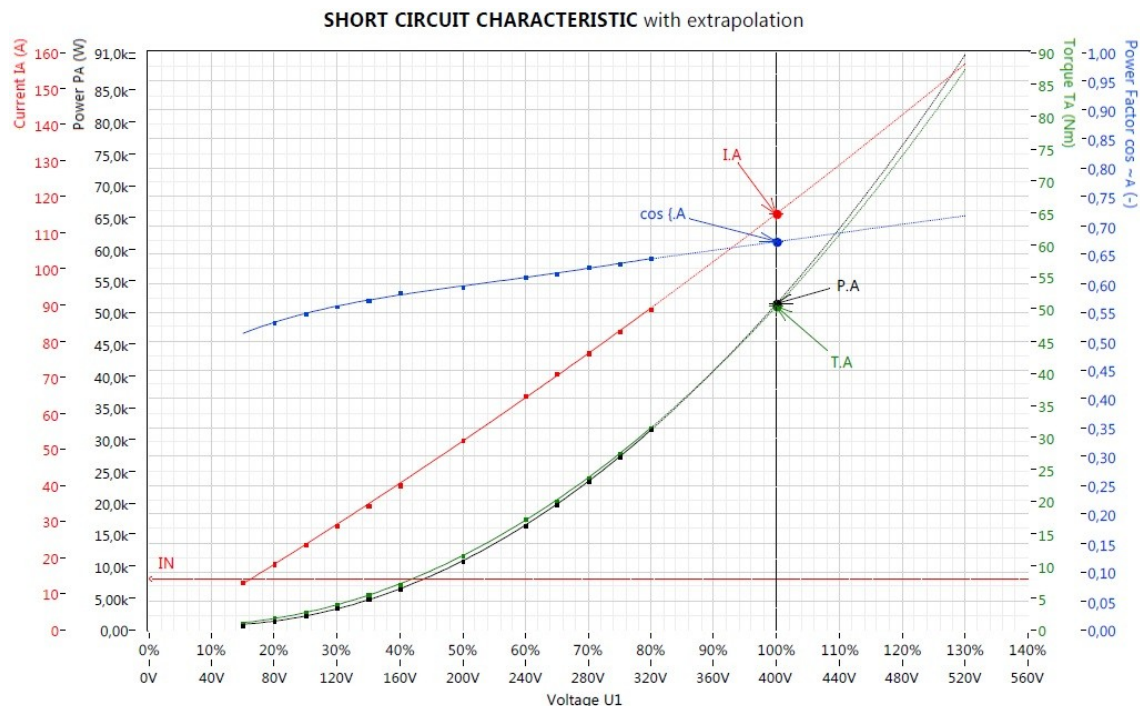
#### 5.1.4 Měření naprázdno



Obr.č. 38- charakteristika měření naprázdno

Na grafu č.38 vidíme charakteristiku naprázdno. Mechanické ztráty jsou extrapolovány.

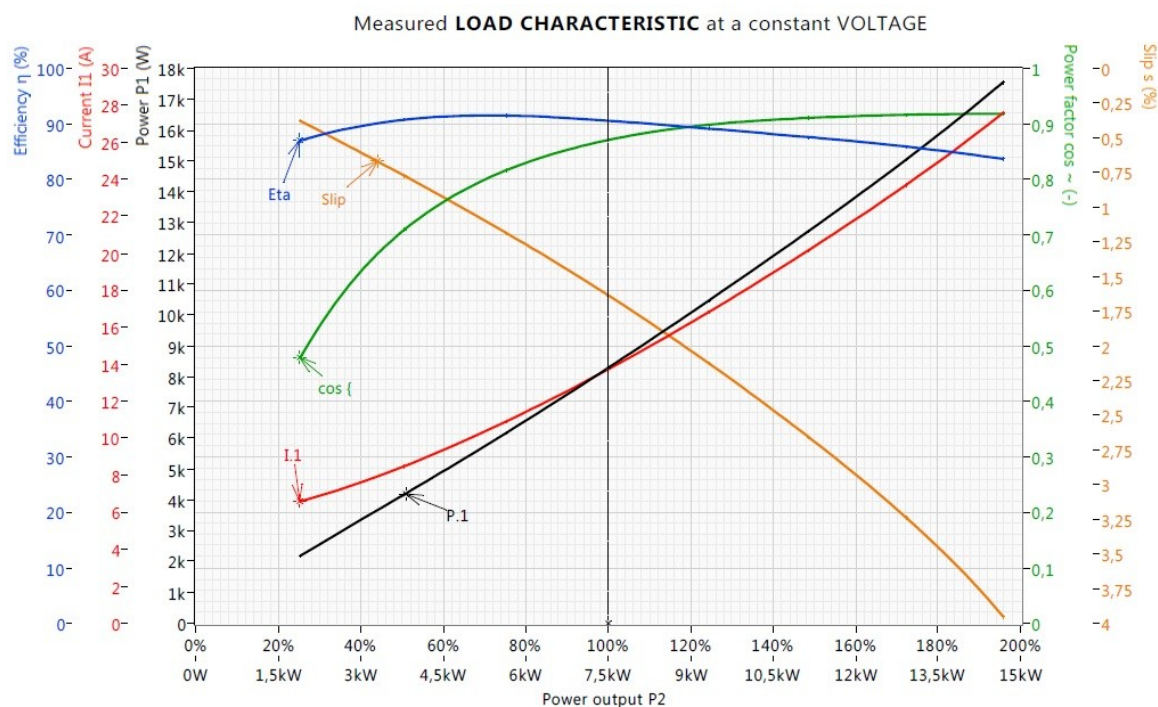
### 5.1.5 Měření nakrátko



Obr.č. 39- charakteristika měření nakrátko

Graf č.39 zobrazuje charakteristiku měření nakrátko. Na grafu lze vidět, že měření neprobíhá od nuly, ale nýbrž cca od 15%, to je z důvodu, aby nedocházelo k zbytečnému opotřebování motoru. Měření také probíhá jen do 80% jmenovitého napětí, jelikož motor by se dále mohl přetěžovat a zbytečně by docházelo k jeho zahřátí a ztráty životnosti. Hodnoty nad 80% jsou z tohoto důvodu extrapolovány.

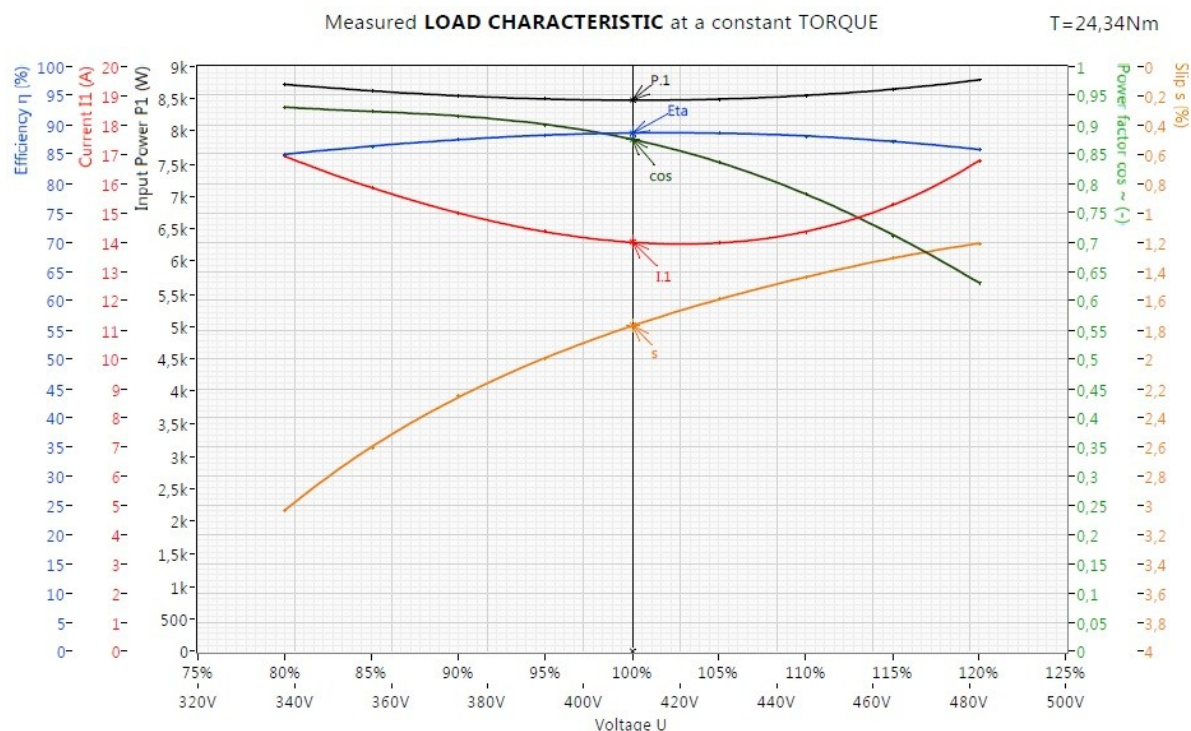
### 5.1.6 Výkonnostní a napěťové optimum



Obr.č. 40- zatěžovací charakteristika

Z uvedeného grafu na obrázku č.40, zatěžovací charakteristiky, je zjišťováno výkonnostní optimum příslušného motoru. Technik, nebo zákazník obsluhující motor takto může z charakteristiky vyčíst, kdy má motor největší účinnost, která je značena modrou barvou a při jakém výkonu. Je možné zde sledovat závislosti jednotlivých veličin.



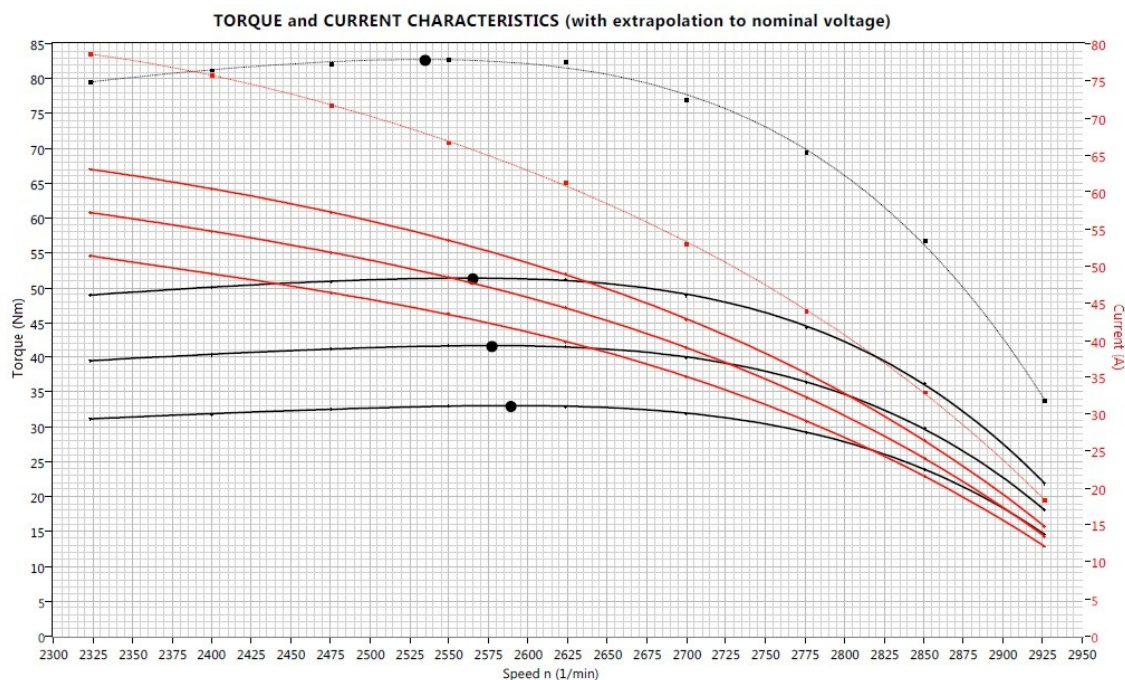


Obr.č. 41- graf pro vyšetřování napět'ového optima

Na obrázku č.41, vyšetřujeme napět'ové optimum. Když se podíváme na graf, můžeme zjistit, při jakém napětí máme nejvyšší účinnost, kde účinnostní křivka je označena modrou barvou. Tento graf slouží k zjištění kritických bodů, kde již může dojít k poškození motoru například jeho přehřátím a tím pádem vymezujeme si pracovní meze stroje.



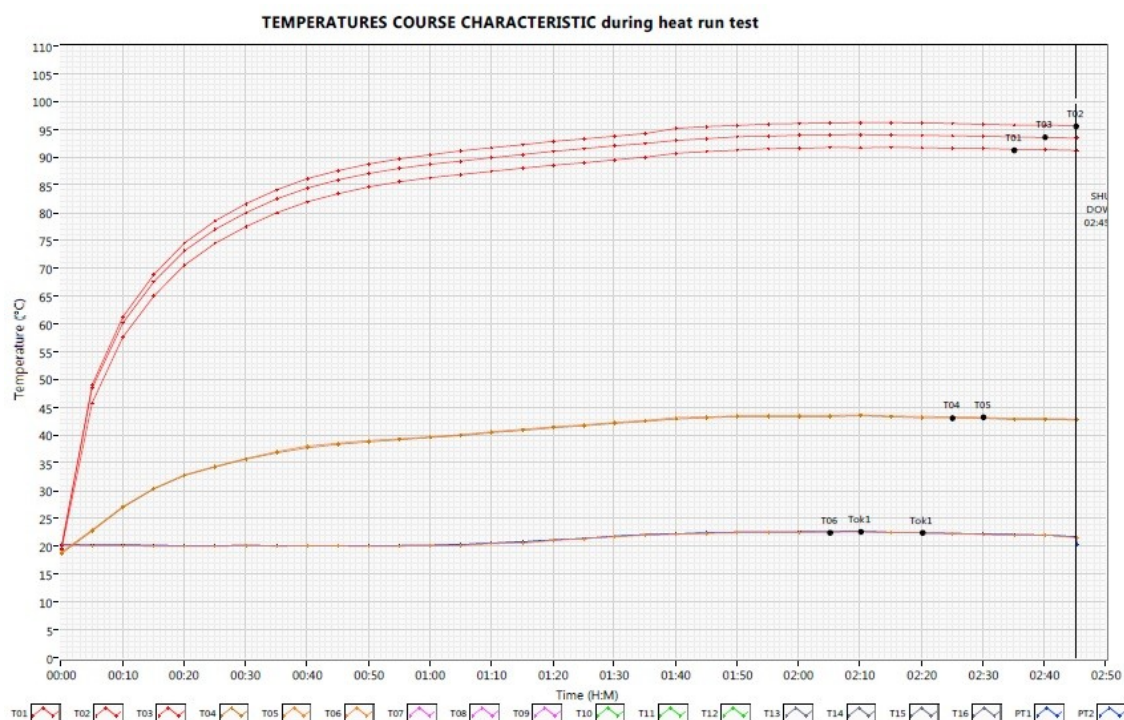
### 5.1.7 Maximální moment



Obr.č. 42- grafy z měření pro extrapolaci a zjištění maximálního momentu

Na grafu z obrázku č.42, měření pro extrapolaci a zjištění maximálního momentu, můžeme vidět jak se nejprve motor postupně zatěžuje než dojde do momentu zvratu. Tento postup se opakuje třikrát a vše je při nižším napětí a proudech, aby opět nedošlo k případnému poškození motoru. Poslední v grafu nejvyšší bod je bod maximálního momentu, který je jako i v předchozích některých měřeních extrapolován. Červenými křivkami je označen proud a černými křivkami moment.

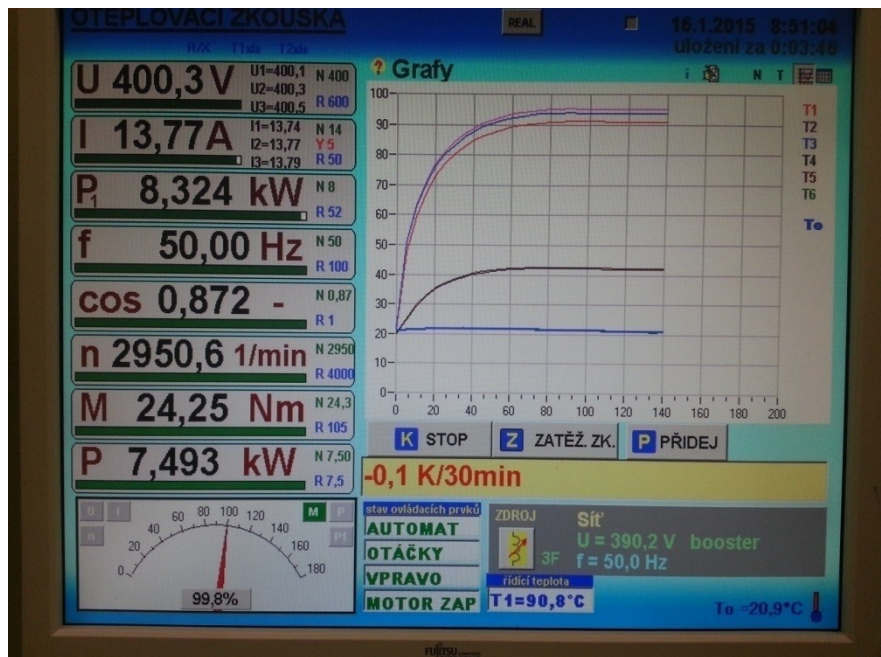
### 5.1.8 Měření teplotními čidly



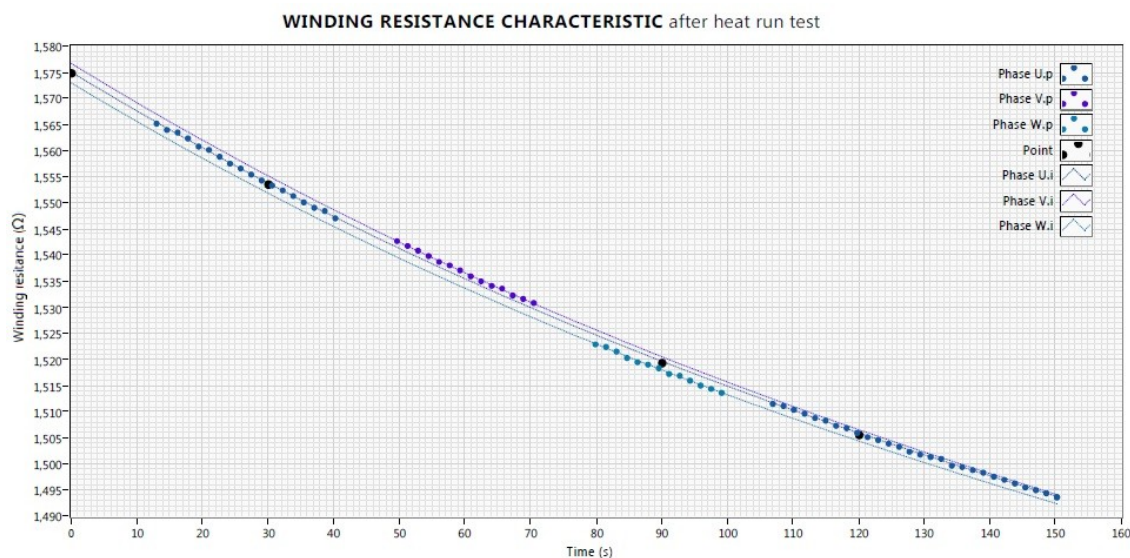
Obr.č. 43- naměřené teploty pomocí jednotlivých teplotních čidel

Na obrázku č.43 vidíme jednotlivá teplotní čidla umístěna na motoru i vněm. Teplotní čidlo označeno jako T01 je umístěno v čele zadního vinutí U. Teplotní čidlo T02 je umístěno v čele zadního vinutí V a třetí tepelné čidlo označeno jako T03 je umístěno v čele zadního vinutí W. Čidla jsou umístěna na nejteplejších místech vinutí, jelikož vinutí je jinde chlazeno kostrou, zatímco čela jsou nejméně chlazena. Získáváme tímto maximální hodnoty oteplení ve vinutí statoru. Tyto tři teplotní čidla především umísťujeme z důvodu zjištění, kdy se teplota vinutí ustálí dle normy, kdy se nesmí teplota změnit o 2K za hodinu. V laboratoři Siemens elektromotory o.z. Mohelnice se však odečítají hodnoty, pokud se teplota ustálí tak, že nedochází ke změně 1K za hodinu.

Další čidla s popisem T04 a T05 jsou umístěna na kostře elektromotoru a samozřejmě posledním teplotním čidlem označeným T06 měříme teplotu okolí, která je důležitá pro pozdější porovnávání, nebo dopočítávání teplot dle norem. Norma totiž udává rozmezí teploty, při kterých se může měřit a tato rozmezí musí být dodržována.



Obr.č. 44- pohled na monitor při měření oteplovací zkoušky



Obr.č. 45- určení teploty vinutí v okamžiku odpojení motoru

Na grafu z obrázku č.45, lze vidět měření jednotlivých odporů, které se provádí asi 2sekundy po odpojení motoru, který ihned chladne. Každý bod znázorňuje změřený odpor v daném čase, kde vždy se měří jednotlivá vinutí v určitém časovém úseku. Podle těchto naměřených hodnot se dopočítáním a sečtením s okolní teplotou zjistí průměrné oteplení vinutí. Podle průměrného oteplení vinutí se posuzuje teplotní třída stroje.

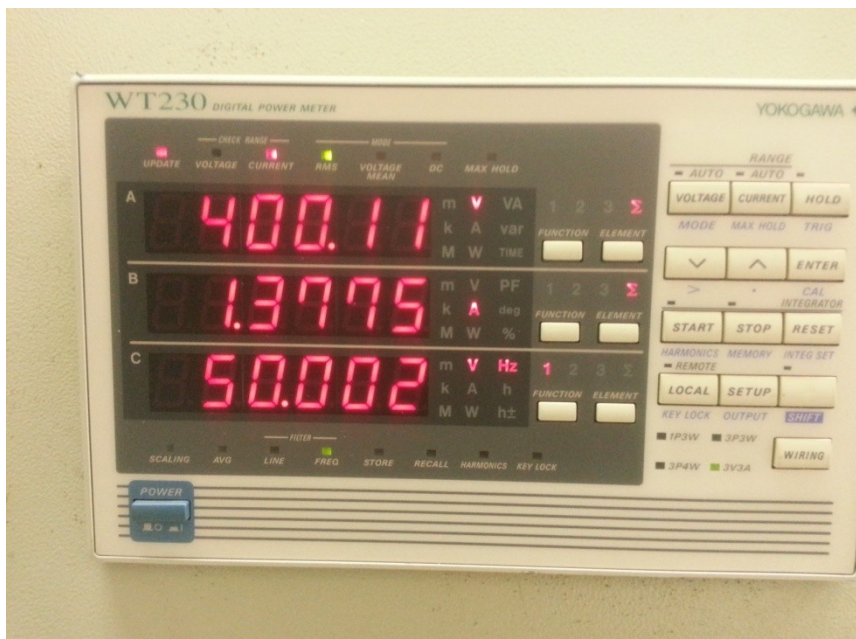
### 5.1.9 Měřicí přístroje

Tab.č. 8- seznam měřících přístrojů č.1

SIEMENS		OVERVIEW OF USED MEASUREMENT DEVICES AND INTERMEDIATE CHECKS					Page 1
Measurement devices for test							
No. of Test bench or Measurement tower	Inventory No. of Test bench or Measurement tower	Measurement of	Manufacturer	Model	Date of last calibration	Date of next calibration	Note_Name_Date
3	22003057	Voltage	YOKOGAWA	YOKOGAWA WT230	04.2014	04.2015	Manufacturer of this testing unit is VUES Brno, that delivered whole measuring and evaluating technology. Calibration of electric measurement devices has been executed at another date then calibration of mechanic ones, by certificated subcontractors.
3	22003057	Current		S. No. 12C619106F			
3	22003057	Electric power					
3	22003057	Resistance	VUES Brno	Source of constant current & measurement unit TOP	03.2014	03.2015	
3	22003057	Temperature	VUES Brno	PT100 - Type J	03.2014	03.2015	
3	22003057	Torque	Interface	Force transducer model SM	03.2014	03.2015	
3	22003057	Speed	VUES Brno	ADAM 4080 & Sensor ROD 426 500 03R	03.2014	03.2015	
Another measurement devices							

V tabulce č.8, vidím soupis použitých měřících přístrojů, které jsou pevně použity pro stanoviště číslo 3, na kterém probíhalo měření. První sloupec určuje tedy číslo stanoviště. Druhý sloupeček udává inventarizační čísla měřících přístrojů. Třetí sloupec udává, co který přístroj měřil a čtvrtý sloupec udává výrobce měřícího přístroje. Další sloupeček je s datem, kdy byla provedena kalibrace přístroje, zatímco o sloupeček dále je datum následující kalibrace. Poslední sloupeček je poznámka k pracovišti, kdo je výrobcem techniky a kdo provádí certifikovanou kalibraci těchto přístrojů, jelikož ji neprovádí výrobce.





Obr.č. 46- detail přístroje Yokogawa WT230

Tab.č. 9- seznam měřících přístrojů č.2

Measurement of	Manufacturer	Model	Serial No.	Date of last calibration	Date of next calibration	Note_Name_Date
Temperature	ELCOM	WDL - 01	EVIP 110056-001	01.2014	01.2016	
Temperature	ELCOM	WDL - 01	EVIP 110056-002	01.2014	01.2016	
Temperature	AHLBORN	THERM 2220-12	H02010021K	03.2014	03.2016	Needle probes: T123-3 J2, A481, B481
Temperature	Fluke	Ti 32	Ti32-13080425	10.2013	10.2015	
Vibration	National Instr.	9234	150D014	07.2014	07.2016	With accelerometer Adash A102-1A (S. No. 1265)
High voltage	SPS Electronic	HA 3600A	11081764	03.2014	03.2015	
Insulation resistance	Chauvin Arnoux	C A 6545	161751LKH	04.2014	04.2016	

V tabulce č.9 máme opět měřící přístroje použité u měření, ale jelikož tyto přístroje jsou použitelné ne jen pro jedno pracoviště, ale v rámci celé laboratoře, udávají se v protokolu v samostatné tabulce. V prvním sloupečku je na jaké měření byl přístroj použit. Druhý sloupec je název výrobce měřícího přístroje. V třetím sloupečku je zapsán model přístroje a v následujícím sériové číslo přístroje. Poslední dva sloupečky jsou, jako u předešlé tabulky pro datum, kdy byl přístroj kalibrován a datum následující kalibrace.

## **6 Typová zkouška as. motoru se zvolenými ložisky**

### **6.1 Všeobecně o zkoušení**

Účelem zkoušky je podat důkaz o tom, že měřený stoj vyhovuje jak po stránce mechanické i elektrické, všem požadavkům platných norem. Také musí vyhovět dalším požadavkům, které si dohodne výrobce s odběratelem. Mimo tuto normu platí pro zkoušení asynchronních motorů norma ČSN 35 0301.

Při zkoušení je potřebná veškerá technická dokumentace.

Z pravidla se zkouší na zkušebně výrobce, ale pokud nelze zkoušky provést u výrobce, zkouška může proběhnout za předem sjednané dohody na jiné zkušebně. Případně je možnost provést zkoušku na místě montáže stroje, nebo se určí náhradní zkoušky. [7]

Prostory zkušebny musí být světlé, čisté a prostorné. Je nutno zamezit náhlým změnám teploty, hluku a otřesům. Zkušebna musí být bez koncentrace škodlivých plynů, par a jiných vlivů, které by mohly ztížit zkoušku, nebo ovlivnit měření a jeho výsledky.

Veškeré zařízení zkušebny musí odpovídat předpisům a platným normám. Důležité při provozu je dodržovat bezpečnostní předpisy viz. norma ČSN 34 3100 a ČSN 34 3105.

Odolnost proti specifickému makroklimatickému, mikroklimatickému prostředí, neboli zvláštní zkoušky se musí provádět v oddělených prostorech či zvláštních zkušebnách. Příkladem je třeba klimatická komora na obrázku č.47. [7]





Obr.č. 47- klimatická komora

### 6.1.1 Podmínky při zkoušení

Zkoušené stroje musí být zaběhané, vysušené a seřízené jako v budoucím provozu. Krytí stroje nesmí být při zkoušce měněno, pokud by mohlo mít vliv na výsledek zkoušky. Teplota okolí při zkoušce, není-li stanoveno jinak, se musí být v rozmezí  $+15$  až  $+25^{\circ}\text{C}$ . Pokud je to však nutné, provede se přepočítání výsledků na stanovenou teplotu. Ve zkušebním protokolu musí být teplota při měření uvedena.

Zkušební stanoviště musí dovolit napodobení provozních stavů chlazení stroje. Umístění stroje musí být vymyšleno tak, aby stroj nepůsobil rušivě na sebe a měřicí přístroje. [7]

### 6.1.2 Měřicí přístroje

Ručičkové přístroje, není-li předepsáno jinak, nesmí mít třídu přesnosti horší než 0,5. Třída přesnosti u měření výkonu třífázovým wattmetrem, nebo wattmetry s  $\cos \varphi$  menším než 1, může být u těchto přístrojů 1,0. U přístrojů pro kmitočty nad 60Hz do 400Hz, nesmí být třída přesnosti horší než 1,0. U přístrojů pro kmitočty nad 400Hz se připouští třída přesnosti 2,5. U číslicových měřících přístrojů musíme dosáhnout minimálně stejné přesnosti měření.

Rozsah u ručičkových měřících přístrojů volíme tak, že změřené hodnoty musí být vyšší než 30% celého rozsahu stupnice. U ostatních měřících přístrojů volíme rozsah tak, aby nedošlo ke zvětšení chyb měření.

Při měření na mechanizovaných a automatických zkušebních linkách, hromadně vyráběných strojů, nesmí u měřících přístrojů být třída přesnosti horší než 1,5. U hodnoty měřeného parametru však nesmí maximální chyba při měření překročit 6%. Když se dodrží tento požadavek, dovoluje se poté měřit kmitočet do 60Hz kmitoměrem třídy přesnosti 2,0. Pokud měříme elektronickými a výpočetními zařízeními, tyto požadavky platí pro celý měřicí řetězec i s měniči signálů.

Pokud se provádí kontrolní kusové zkoušky po opravách prováděných jinde, než u výrobce, můžeme použít měřicí přístroje s třídou přesnosti 1,0.

Tento postup a nařízení převzaté z normy platí pro kusovou zkoušku ve výrobě, která je popsána v předchozích kapitolách, jelikož měření prováděná v laboratoři Siemens s.r.o. mají přísnější kritéria a přístroje mají mnohem vyšší přesnosti. [7]

### 6.1.3 Tolerance

V normě ČSN 35 0000 část 1 a ČSN 35 0000 část 1-1 jsou uvedeny tolerance měřených hodnot. Hodnoty tolerancí obsahují i nepřesnosti měření. [7]

## 6.2 Typová zkouška

Typovou zkouškou se zabývá norma ČSN 35 0010, která nám určuje jak má zkouška probíhat a za jakých podmínek se má zkouška uskutečnit. Tato norma platí pro zkoušení všech točivých elektrických strojů obecně. Výjimkou jsou stroje, pro které platí jiné normy. Pro stroje na které se tato norma nevztahuje, mohou být v jiných normách uvedeny další pozměňující nebo doplňující požadavky a informace. Jedná se o normy pro nevýbušná zařízení, elektrickou instalaci na lodích apod.

Při typové zkoušce se zjišťuje, zda stroj splňuje, jak je výše již uvedeno všem požadavkům platných norem, požadavkům mezi výrobcem a odběratelem, ale zjišťují se také jiné vlastnosti stroje, mající význam pro jeho budoucí užívání. Na každém novém typu stroje se provádí typová zkouška. Typová zkouška se skládá z více předepsaných dílčích zkoušek a stroj musí při všech vyhovět. Ke každému výsledku typové zkoušky se musí vypracovat zkušební protokol. Záznamy z výsledků typové zkoušky se musí uchovávat nejméně 10let. [7]

#### **K opakování typové zkoušky dochází v těchto případech:**

- a) U jednotlivě vyráběných strojů do uplynutí doby 10let od předešlé zkoušky dle data na protokolu.
- b) U hromadně nebo sériově vyráběných strojů do uplynutí doby 5let od předešlé zkoušky, dle data na protokolu. Nebo po určeném počtu vyrobených kusů (dle toho, co vypovídá kratší dobu), či po převedení výroby stroje do jiného závodu.
- c) Pokud dojde ke změně materiálu, výrobního postupu či změně konstrukce, která by měla vliv na vlastnosti stroje.

- d) Při sériové výrobě strojů, kde dochází u kontrolních zkoušek k opakovanému výskytu odchylek, od předchozí provedené typové zkoušky.

Pozn.: U případů c) a d) můžeme typovou zkoušku opakovat jen v omezeném rozsahu. [7]

### 6.2.1 Základní mechanické zkoušky

Při mechanických zkouškách kontrolujeme, jestli nejsou závady na zdroji, které by ohrožovali správný chod stroje. Prohlídce se podrobí také náhradní díly a příslušenství stroje, které jsou nutné pro jeho chod a popřípadě se podrobí i všem mechanickým zkouškám. Veškeré zjištěné závady musí být odstraněny.

Mechanické zkoušky se dělí na prohlídku, kontrolu rozměrů a chodu stroje.

U mechanických zkoušek při kontrolní kusové zkoušce hromadně vyráběných strojů se musí minimálně prohlednout a zkontrolovat výkonnostní štítek, svorkovnice. Dosedací plochy, šroubové spoje, vzduchová mezera, volný chod rotoru, nastavení a případně chod sběracího ústrojí.

U všech strojů, u kterých to je možné, kontrolujeme velikost a souměrnost vzduchové mezery. U asynchronních motorů do 100kW se při kusových zkouškách souměrnost a velikost vzduchové mezery kontrolovat nemusí.

#### **Rozsah prohlídky:**

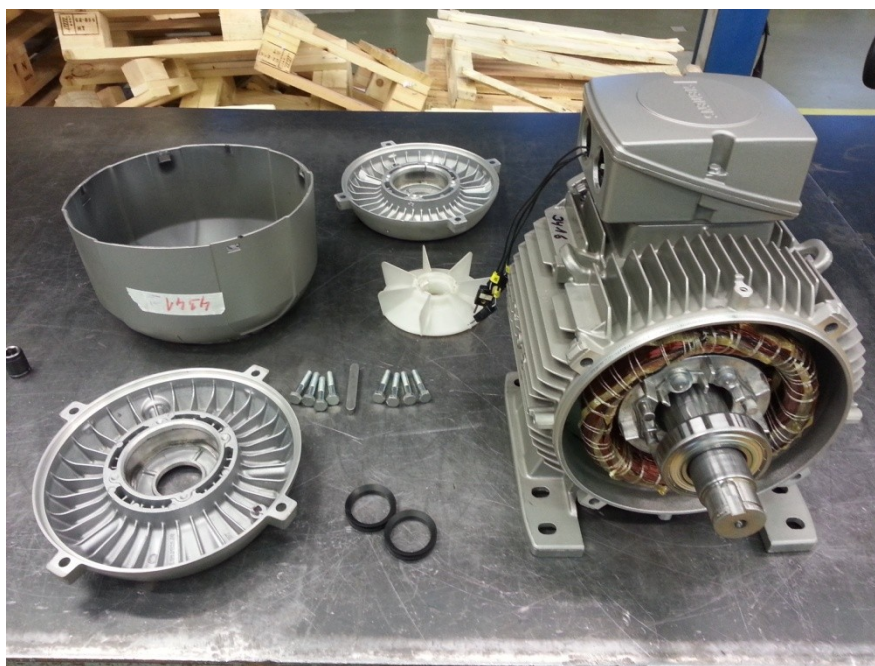
- a) Čistota stroje
- b) Vinutí
- c) Sběrací ústrojí
- d) Komutátory a sběrací kroužky
- e) Svorkovnice a ochranné a uzemňovací svorky
- f) Hřídel, drážka pro pero, čepy a ložiska
- g) Ventilátory a vyvážky
- h) Dosedací plochy, šroubové spoje
- i) Závěsné prvky
- j) Stupeň krytí
- k) Kryty a odpad vody
- l) Výkonnostní a jiné štítky
- m) Označení statoru, rotoru a slícovaných dílů
- n) Maznice a olejoznaky
- o) Příslušenství stroje
- p) Úprava povrchu, konzervace, balení
- q) Úplnost dodávky

V Siemens s.r.o. ručí za správné smontování a tedy mechanickou zkoušku prototypová dílna, která před každým měřením měřený motor zkontroluje a i

případně na měření smontuje. Montáž motoru k měření samozřejmě probíhá i přímo ve výrobě. [7]

### 6.3 Montáž měřeného motoru

Před každým měřením byl motor v prototypové dílně rozebrán, aby mohly být vyměněny těsnící prvky na uložení rotoru. Rozebraný měřený motor vidíme na obrázku č.48. Na obrázku jsou patrné základní části motoru. Vidíme stator, rotor s hřídelí, na které jsou uložena ložiska. Vedle motoru jsou položeny ložiskové štíty, plastový ventilátor a kryt ventilátoru. Samozřejmě pro montáž potřebně šrouby, které přichytí ložiskové štíty ke kostře motoru. Na obrázku jdou vidět vyvedené dráty ze svorkovnice od tepelných čidel, které jsou tzv. „zašity“ do statorového vinutí. Čidla se vkládají čela každého statorového vinutí, přesně doprostřed, kde vinutí není tak chlazeno a je zde tedy největší oteplení. Tyto čidla musí být do statoru vkládána již při výrobě a standardně nebývají ve výbavě motoru. Vkládají se do vinutí prototypů a vzorků. Pokud však zákazník chce, může Siemens jako výrobce na přání tyto čidla do motoru vložit. Na obrázku č.49, je detail statorového vinutí, kde vidíme uprostřed mezi barevnými přívody do jednotlivých vinutí drátky s černou izolací, které vedou právě od zmíněných čidel. Proč se čidla všívají do čel vinutí a jaký mají úkol, je zodpovězeno v kapitole 4.4. Na obrázku č.49 zde také vidět detail hybridního rotoru.



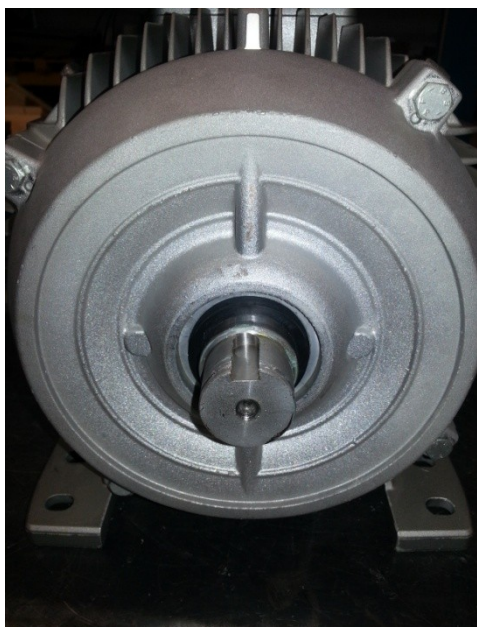
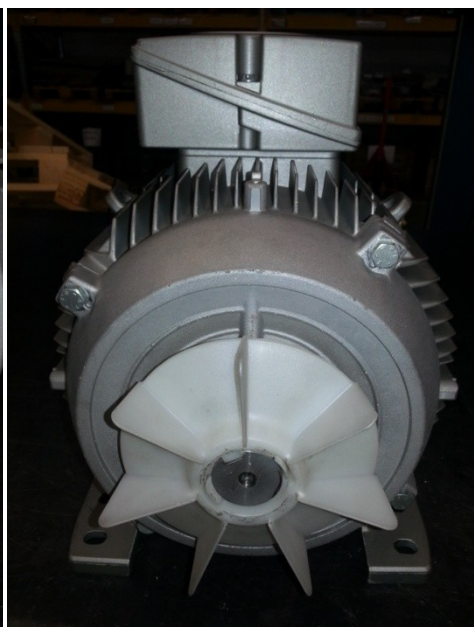
Obr.č. 48- jednotlivé části měřeného motoru i s těsnícími prvky



**Obr.č. 49- vyvedení měřícího čidla teploty a detail hybridního rotoru**

Na obrázku č.50 vidíme již namontované ložiskové štíty, čímž je rotor pevně uložen. Pohled je ze strany, kde má být ventilátor. Při každém měření se demontáž a montáž motoru opakuje stejným způsobem, akorát vždy pro každé měření na zvolených ložiscích je namontován jiný těsnicí prvek. Na obrázku vidíme těsnicí prvek v podobě černého prstence, který je okolo hřídele v ložiskovém štítu. Motor na dalším obrázku č.51 je již osazen ventilátorem.



**Obr.č. 50- motor bez ventilátoru****Obr.č. 51- motor s ventilátorem**

Dalším a posledním krokem při montáži měřeného motoru je zakrytí ventilátoru. Když jsou všechny části z obrázku č.48, kde je motor ještě rozložen, pevně připevněny na svých místech, motor je kompletní a připraven k měření. Kompletní motor je vyobrazen na obrázku č. 52.

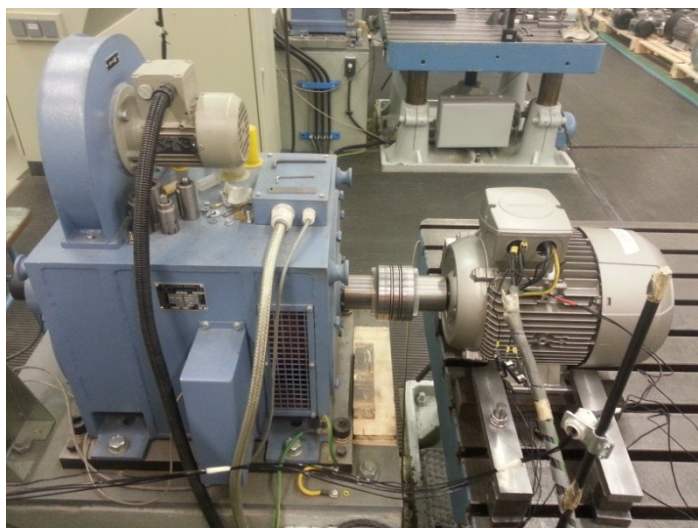
**Obr.č. 52- kompletně sestavený motor**



## 6.4 Praktické měření



Obr.č. 53- měřící pracoviště č.3



Obr.č. 54- měřený motor při měření zatížení

### 6.4.1 Zvolená ložiska

Pro měření byla zvolena ložiska od společnosti ORS - Ortadogu Rulman Sanayi ve Tic.A.S, která byla založena v Turecku roku 1983.

Tato společnost byla prvním specializovaným výrobcem ložisek v Turecku. Společnost ORS je dodavatelem ložisek do společnosti Siemens do prvovýroby elektromotorů. Ložiska od společnosti ORS se vyznačují výrazně nižší cenou, než například ložiska od společnosti SKF, která také dodává ložiska do společnosti Siemens. Společnost ORS deklaruje na svých

webových stránkách vysokou kvalitu, životnost a velmi nízkou hlučnost. Také se společnost deklaruje kvalitou výroby certifikátem ISO 9001. [4]



**Obr.č. 55- ložisko ORS**

Pro usazení ložisek na hřídel je nutno ložiska nahřát v elektrické peci. Ložiska ORS mají ložiskovou klec, která je na obrázku č.56, kuličky a kroužky zhotoveny z ložiskové ocele a ložiska mají tukovou náplň. Proto můžeme zvolit teplotu nahřátí na 110°C. Po nahřátí se volně ložisko nasune na dosedací plochu na hřídeli. [4]



**Obr.č. 56- ložisková klec, ložiska ORS**

Tab.č. 10- parametry ložisek ORS

<b>Výrobce ložiska</b>	ORS
<b>Označení</b>	620650 C3
<b>Země původu</b>	Turecko
<b>Vnější průměr ložiska [mm]</b>	62,001
<b>Vnitřní průměr ložiska [mm]</b>	29,998
<b>Tloušťka [mm]</b>	15,972
<b>Hmotnost [g]</b>	195

Vzhledem k sférickému tvaru koule je stykovou plochou na oběžné dráze jen vrchní část kuliček. Právě kvůli bodovému kontaktu kuliček s oběžnou dráhou na rozdíl od linky u valivých ložisek, může být dosaženo nižšího tření a vyšší otáčky. Ložisko v závislosti na radiální vůli může být sestaveno s úhlem 8-16 minut. Standardní sériová ložiska tohoto typu zahrnuje bezkontaktní těsnění jednořadového kuličkového ložiska, stejně jako kontaktní těsnění. Ložiska s těsněním na obou stranách nevyžadují údržbu. [8]

#### 6.4.2 Měření č.1

První měření proběhlo na motoru, bez těsnících hřídelových prvků. Měření účinnosti se provádí na motoru bez těsnících hřídelových prvků, motor je vybaven pouze jednou pružnou podložkou pod ložiskem, která zajišťuje axiální přepětí ložiska, sloužící k omezení hlučnosti. Podle této sestavy motoru budeme poté porovnávat výsledky dalších měření, kde již bude tentýž motor však obsahovat zvolená ložiska s jinými těsnícími prvky.

Na obrázku č.57 máme hlavičku naměřeného protokolu, která je stejná jako hlavička v kapitole 4.4. Protokol o měření. Když tedy víme, co veškeré údaje znamenají, zaměříme se jen na rámeček s nadpisem „TEST ID“, který obsahuje identifikační číslo měření, podle kterého nalezneme v přílohách kompletní protokol se všemi stranami. Každé měření má své ID a rozeznáme tak jednotlivá měření a v přílohách k nim můžeme přiřadit správné protokoly. U každého měření bude tudíž pro orientaci obrázek s hlavičkou protokolu stejný jako u tohoto prvního měření je obrázek č.57.

SIEMENS		TEST REPORT			
<b>LABORATORY</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D 3 1</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		<b>MOTOR TYPE</b> <b>1AV2131A</b>			
		<b>ORDER CODE</b> <b>1LE1001-1CA134</b>			
<b>Originator</b> <b>Rajčula Jiří</b>		<b>Call number</b> <b>+420 583 47 2350</b>		<b>Pages</b> <b>16</b>	<b>Annex</b> <b>1</b>
		<b>Reference</b> 		<b>Date</b> <b>6.1.2015</b>	
		<b>Test ID</b> <b>T151325-003-2</b>			
<b>CUSTOMER</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>					

Obr.č. 57- hlavička protokolu, měření č.1

Tab.č. 11- naměřené hodnoty, měření č.1

	Nominal value	Minimum tolerance	Maximum tolerance	Minimum value	Maximum value	Measured value	$\Delta^*$ (deviation)	Use of tolerance	Result status
$\eta$ (%)	88,10	-1,79		86,315		89,968	+1,8681		Passed
$\cos \phi$ (-)	0,870	-0,022		0,84833		0,87134	+0,0013		Passed
Sync. Speed (1/min)	3000,0								
Nom. Speed (1/min)	2950,0					2951,0	+1,0400		
slip (-)	0,0167	-0,0033	+0,0033	0,013333	0,020000	0,016399	-0,0003	8,04%	Passed
$T_{st}/T_n$ (-)	2,20	-0,33	+0,55	1,8700	2,7500	2,0754	-0,1246	37,77%	Passed
$T_{max}/T_n$ (-)	3,10	-0,31		2,7900		3,4096	+0,3096		Passed
$I_{st}/I_n$ (-)	7,50		+1,50		9,0000	8,3983	+0,8983	59,89%	Passed
$\Delta\theta$ 30s (K)	80,00		0,00		80,000	62,865	-17,1350		Passed
$\Delta\theta$ 0s (K)	80,00		0,00		80,000	67,254	-12,7460		

Tabulka č.11 nám ukazuje základní naměřené hodnoty. Skutečně změřené hodnoty jsou ve sloupečku „Measured value“. Pro nás nejdůležitější je hodnota účinnosti, která je naměřená a bude ve zhodnocení porovnávána s hodnotami jiných těsnících hřídelových prvků namontovaných do motoru. Hodnotu účinnosti máme pro lepší přehled označenou červeným rámečkem. Naměřená účinnost u motoru bez těsnících prvků je tedy  $\eta = 89,968 \%$ . Poslední sloupeček s nadpisem „Result status“ nám zeleným popisem „Passed“ u jednotlivých hodnot potvrzuje, že hodnoty vyhovují normám. Popis všech zbylých hodnot najdeme v kapitole 4.4.

**SIEMENS**

Type certificate of 3F induction motor

Power output :	7,500kW	Note :		Motor type :	1AV2131A
Voltage :	400,0V	Frequency :	50,00Hz	Order code :	1LE1001-1CA134
Current :	14,10A	Speed :	2950/min	Type of construction :	IMB3
Power factor :	0,870	No. Poles :	2	Degree of protection :	IP55
Torque :	24,28Nm	Duty type :	S1	Frame Size :	132S
Efficiency :	88,1%	Line connection :	D	Max. amb. temperature :	40,00°C
				Test ID :	T15132S-003-2
				Specification :	58813202220034
				Serial No.:	3416
				Class of efficiency :	IE2, NEMA Energy

**Obr.č. 58- hlavička se štítkovými hodnotami, měření č.1**

Na obrázku č.58 máme hlavičku se štítkovými hodnotami. Vlevo v prvním sloupci jsou veličiny uvedené na štítku a dále máme již hodnoty, kde některé jsou uvedené na štítku motoru a některé jen v katalogu. Vysvětlení celé tabulky a všech veličin je v kapitole 4.4. Zde si můžeme ověřit vpravo v kolonce Test ID, že jde o štítkové a katalogové hodnoty motoru z měření č.1



Tab.č. 12- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.1

Measured at $U_n, M_n$		IEC	IEEE	CSA
Voltage $U_N$ (V):	400,100	400,100	400,100	400,097
Power in $P_N$ (W):	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>	<b>8287,0</b>
Current $I_N$ (A):	13,72	13,72	13,72	13,72
Frequency $f$ (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed $n$ (1/min):	2951,0	2951,0	2951,0	2951,0
Torque $T_N$ (Nm):	24,28	24,28	24,28	24,28
Power factor $\cos \phi$ (-):	0,871	0,871	0,871	0,871
Slip $s$ (%):	1,632	1,640	1,640	1,640
Winding rise temp $T_C$ § (K):	73,2	73,2	73,2	73,2
Winding rise temp $H_R$ § (K):		67,3	67,1	67,1
Core losses $\Delta P_{fe}$ (W):	---	122,6	139,5	122,6
Stator Losses $\Delta P_s$ (W):	---	449,6	443,6	449,3
Power across air gap $P_\delta$ (W):	---	7714,8	7703,9	7715,1
Rotor losses $\Delta P_r$ (W):	---	127,8	127,7	126,0
Mechanical losses $\Delta P_{fw}$ (W):	---	67,7	67,7	67,7
Stray-load losses $\Delta P_{LL}$ (W):	---	63,6	54,6	63,4
Total losses $\Delta P_T$ (W):	---	831,3	833,1	829,0
Power out $P_2$ (W):	<b>7502,7</b>	<b>7504,3</b>	<b>7504,3</b>	<b>7504,3</b>
Efficiency $\eta$ (%):	<b>90,54</b>	<b>89,97</b>	<b>89,95</b>	<b>90,00</b>

Standard:	IEC		NEMA		NEMA	
IEC IE4 Super, NEMA Super:	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum
IEC IE3 Premium, NEMA Premium:		✓		✓		✓
IEC IE2 High, NEMA Energy:	✓		✓		✓	
IEC IE1 Standart:	✓					

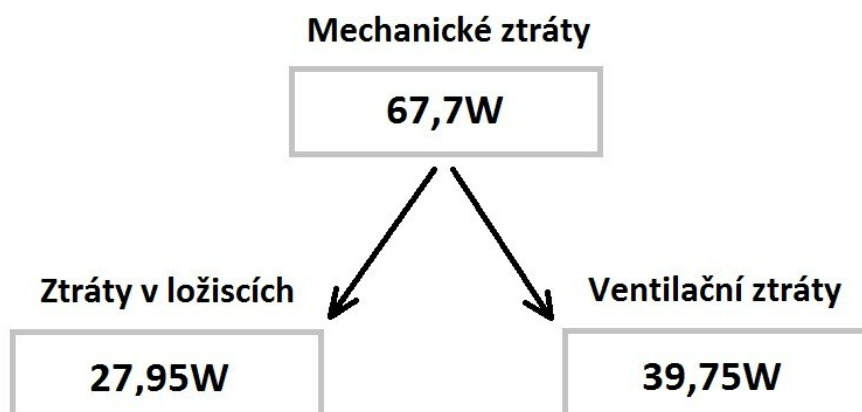
Tabulka č.12, nám udává přehled mezi naměřenými veličinami při jmenovitém napětí a momentu, v porovnání s normami. Nejvíce nás zajímá sloupeček s novou normou IEC a především vliv těsnících hřídelových prvků. V tomto prvním měření však motor žádné těsnící prvky neobsahuje. Celková účinnost stejně jako mechanické ztráty jsou označeny červeným rámečkem stejně jako u dalších měření pro snadnou orientaci. Celkovou účinnost následně



budeme porovnávat s ostatními měřeními, kde budeme sledovat, který těsnicí prvek měl největší vliv na účinnost. Předpokladem je, že těsnicí prvky mají největší vliv na mechanické ztráty a tím pádem poté na celkovou účinnost. Vlevo od červeného rámečku účinnosti máme účinnost měřenou přímou metodou podle vzorců, zatímco v červeném rámečku je účinnost počítaná ze ztrát dle normy IEC.

V ostatních sloupcích vidíme data přepočtená dle ostatních norem a pod tabulkou vidíme, co který sloupec z daných norem splňuje.

Ve vrchní části tabulky jsou základní veličiny napětí, proud, frekvence, otáčky a podobně. V druhé části tabulky níže, jsou veškeré ztráty. Důležitým poznatkem je, že námi sledované mechanické ztráty se dělí na ztráty ventilátorové a v ložiscích. Tudíž ztráty v červeném rámečku obsahují i ztráty ventilátorové a ztráty v ložiscích musíme od celkových ztrát odečíst, abychom zjistili jen ztráty způsobené ventilátorem. Ztráty ventilátorové poté budeme odečítat u každých měření čímž zjistíme, čistě jen ztráty ložiskové, které však se budou měnit v závislosti na použitých těsnicích prvcích. Ventilátorové ztráty, které zjistíme odečtením ložiskových ztrát naměřených v kapitole „vliv mechanických ztrát“ od celkových ztrát se nemění. Na každém provedení motoru tedy budou odečítány ventilační ztráty stejné.

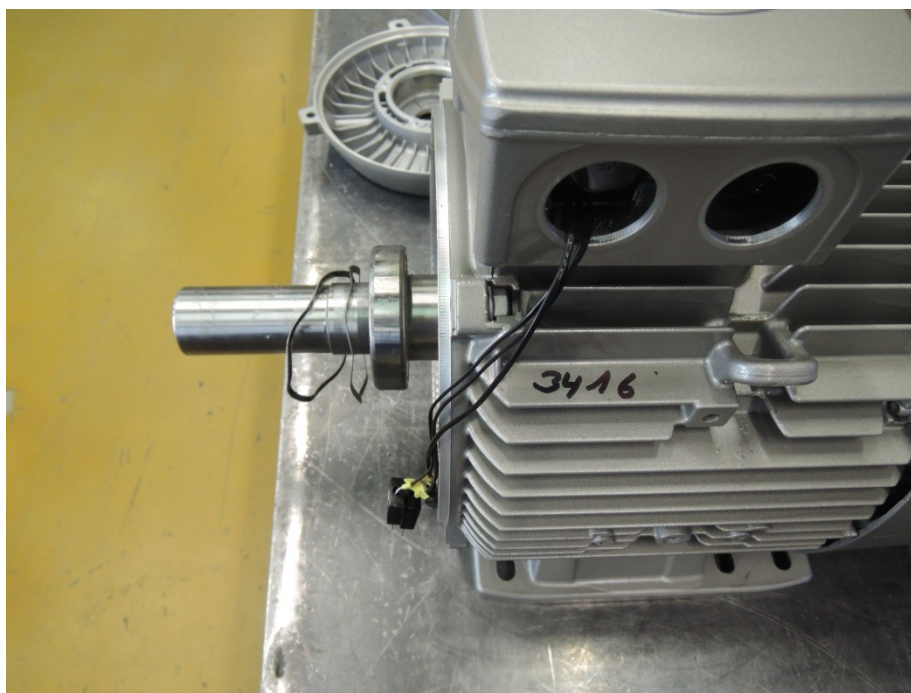


Obr.č. 59- rozdělení ztrát, měření č.1

Měřením mechanických ztrát na motoru bez ventilátoru v kapitole vlivu mechanických ztrát, jsme zjistili ztráty v ložiscích. Ventilátor byl odmontován a tak ventilační ztráty jsou nulové. Když v měření č.1, odečteme od celkových mechanických ztrát, naměřené ložiskové ztráty zjištěné předchozím měřením na motoru bez ventilátoru, získáme ztráty ventilační.

Tyto ventilační ztráty, nyní budeme v každém měření odečítat od celkových ztrát, abychom zjistili ztráty v ložiscích a v těsnících hřídelových prvcích. Poté odečteme, ještě ztráty ložiskové a zjistíme přesné ztráty těsnících prvků.

#### 6.4.3 Měření č.2

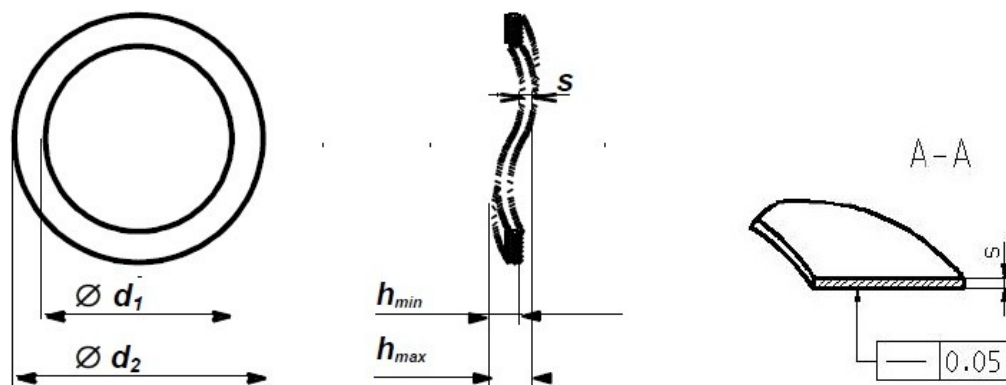


Obr.č. 60- vyrovnávací podložka

Na obrázkuč.60 vidíme vyrovnávací podložku nasunutou na hřídeli u ložisek ORS. Následně se na hřídel nasune ložiskový štít a přimontuje se šrouby ke kostře motoru. Tento postup se opakuje samozřejmě i na druhé straně hřídele a motor je poté připraven na měření.

druhé měření proběhlo na motoru, s dvěma vyrovnávacími podložkami, která zajišťuje axiální přepětí ložiska. Tuto sestavu motoru budeme následně porovnávat s všemi ostatními měřeními.

Na obrázku č.62 máme hlavičku naměřeného protokolu, která je stejná jako hlavička v kapitole 4.4. Protokol o měření. Když tedy víme, co veškeré údaje znamenají, zaměříme se jen na rámeček s nadpisem „TEST ID“, který obsahuje identifikační číslo měření, podle kterého nalezneme v přílohách kompletní typový protokol se všemi stranami.



Obr.č. 61- výkres vyrovnávací podložky

Vyrovnávací podložka slouží ke snížení hladiny hluku při chodu motoru a k tlumení vibrací a chvění. Přispívá také ke zvýšení životnosti ložiska. Siemens pro rozměry vyrovnávacích podložek využívá interní německou normu SN 60098, kterou musí každá podložka splňovat.

SIEMENS		TEST REPORT		
<b>LABORATORY</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D 3 1</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		<b>MOTOR TYPE</b> <b>1AV2131A</b>		
		<b>ORDER CODE</b> <b>1LE1001-1CA134</b>		
		<b>CUSTOMER</b> <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		
<b>Originator</b> <b>Rajčula Jiří</b>	<b>Call number</b> <b>+420 583 47 2350</b>	<b>Pages</b> <b>13</b>	<b>Annex</b> <b>0</b>	<b>Date</b> <b>16.1.2015</b>
<b>Reference</b> 	<b>Test ID</b> <b>T15132S-027-2</b>			

Obr.č. 62- hlavička protokolu, měření č.2

Tab.č. 13- základní naměřené hodnoty, měření č.2

	Nominal value	Minimum tolerance	Maximum tolerance	Minimum value	Maximum value	Measured value	$\Delta^*$ (deviation)	Use of tolerance	Result status
$\eta$ (%)	<b>88,10</b>	<b>-1,79</b>		<b>86,315</b>		<b>89,677</b>	<b>+1,5773</b>		<b>Passed</b>
$\cos \phi$ (-)	<b>0,870</b>	<b>-0,022</b>		<b>0,84833</b>		<b>0,86911</b>	<b>-0,0009</b>	<b>4,09%</b>	<b>Passed</b>
Sync. Speed (1/min)	<b>3000,0</b>								
Nom. Speed (1/min)	<b>2950,0</b>					<b>2950,6</b>	<b>+0,5600</b>		
slip (-)	<b>0,0167</b>	<b>-0,0033</b>	<b>+0,0033</b>	<b>0,013333</b>	<b>0,020000</b>	<b>0,016559</b>	<b>-0,0001</b>	<b>3,24%</b>	<b>Passed</b>
Tst/Tn (-)						<b>0,0000</b>			
Tmax/Tn (-)						<b>0,0000</b>			
Ist/In (-)						<b>0,0000</b>			
$\Delta\theta$ 30s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>62,634</b>	<b>-17,3657</b>		<b>Passed</b>
$\Delta\theta$ 0s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>67,159</b>	<b>-12,8408</b>		

Tabulka č. 13, nám ukazuje základní naměřené hodnoty. Skutečně změřené hodnoty jsou ve sloupečku „Measured value“. Pro nás nejdůležitější je hodnota účinnosti, která je naměřená a bude ve zhodnocení porovnávána s hodnotami jiných těsnicích hřídelových prvků namontovaných do motoru. Hodnotu účinnosti máme pro lepší přehled označenou červeným rámečkem. Naměřená účinnost s dvěma vyrovnávacími podložkami je tedy  $\eta = 89,677$  %. Poslední sloupeček s nadpisem „Result status“ nám zeleným popisem „Passed“ u jednotlivých hodnot potvrzuje, že hodnoty vyhovují normám.

**SIEMENS**

Type certificate of 3F induction motor

Power output : <b>7,500kW</b>	Note : <b>2x vyrovnávací podložka pod ložiskem</b>	Motor type : <b>1AV2131A</b>
Voltage : <b>400,0V</b>	Frequency : <b>50,00Hz</b>	Order code : <b>1LE1001-1CA134</b>
Current : <b>14,10A</b>	Speed : <b>2950/min</b>	Test ID : <b>T151325-027-2</b>
Power factor : <b>0,870</b>	No. Poles : <b>2</b>	Specification : <b>58813202220034</b>
Torque : <b>24,28Nm</b>	Duty type : <b>S1</b>	Serial No. : <b>3416</b>
Efficiency : <b>88,1%</b>	Line connection : <b>D</b>	Class of efficiency : <b>IE2, NEMA Energy</b>
	Max. amb. temperature : <b>40,00°C</b>	

Obr.č. 63- hlavička se štítkovými hodnotami, měření č.2

Na obrázku č. 63, máme hlavičku se štítkovými hodnotami. Vlevo v prvním sloupci jsou veličiny uvedené na štítku a dále máme již hodnoty, kde některé jsou uvedené na štítku motoru a některé jen v katalogu. Vysvětlení celé tabulky a všech veličin je v kapitole 4.4. Zde si můžeme ověřit vpravo v kolonce Test ID, že jde o štítkové a katalogové hodnoty motoru z měření č.2.

Tab.č. 14- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.2

Measured at Un, Mn		IEC	IEEE	CSA
Voltage UN (V):	400,160	400,160	400,160	400,163
Power in PN (W):	<b>8302,0</b>	<b>8302,0</b>	<b>8302,0</b>	<b>8302,0</b>
Current IN (A):	13,78	13,78	13,78	13,78
Frequency f (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed n (1/min):	2950,6	2950,6	2950,6	2950,6
Torque TN (Nm):	24,28	24,28	24,28	24,28
Power factor cos {N (-):	0,869	0,869	0,869	0,869
Slip s (%):	1,648	1,656	1,656	1,656
Winding rise temp TC § (K):	73,4	73,4	73,4	73,4
Winding rise temp HR § (K):		67,2	67,0	67,0
Core losses ΔPfe (W):	---	122,4	139,6	122,4
Stator Losses ΔPs (W):	---	454,5	448,2	454,1
Power across air gap Pδ (W):	---	7725,1	7714,1	7725,5
Rotor losses ΔPr (W):	---	129,7	129,5	127,6
Mechanical losses ΔPfw (W):	---	86,7	86,7	86,7
Stray-load losses ΔPLL (W):	---	63,7	54,5	63,5
Total losses ΔPT (W):	---	857,0	858,6	854,3
Power out P2 (W):	<b>7499,9</b>	<b>7501,5</b>	<b>7501,5</b>	<b>7501,5</b>
Efficiency η (%):	<b>90,34</b>	<b>89,68</b>	<b>89,66</b>	<b>89,71</b>

Standard:	IEC		NEMA		NEMA	
IEC IE4 Super, NEMA Super:	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum
IEC IE3 Premium, NEMA Premium:		✓		✓		✓
IEC IE2 High, NEMA Energy:	✓		✓		✓	
IEC IE1 Standart:	✓					

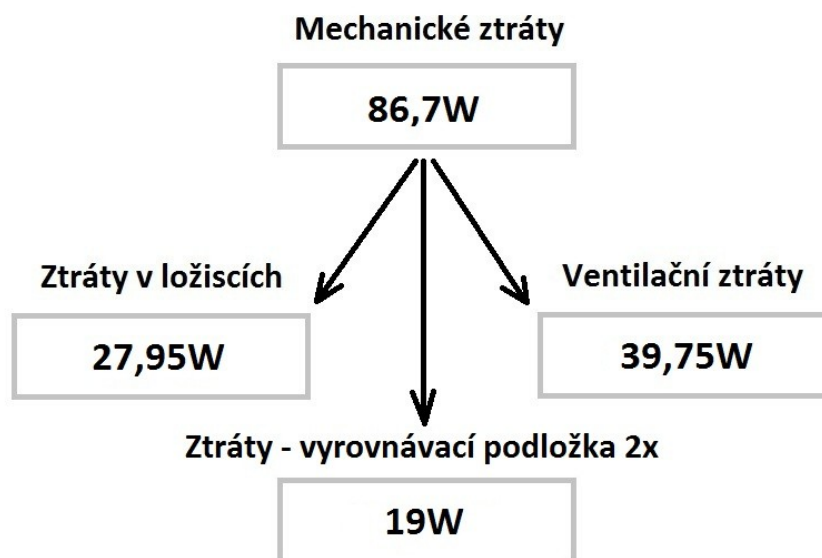
Tabulka č. 14, udává přehled mezi naměřenými veličinami při jmenovitém napětí a momentu, v porovnání s normami. Nejvíce nás zajímá sloupeček s novou normou IEC a především vliv těsnících hřídelových prvků na mechanické ztráty. V tomto druhém měření máme již zmíněné dvě vyrovnávací podložky. Celková účinnost stejně jako mechanické ztráty jsou označeny červeným rámečkem pro snadnou orientaci. Celkovou účinnost následně budeme porovnávat s ostatními měřeními, kde budeme sledovat, který těsnící prvek měl největší vliv na



účinnost. Vlevo od červeného rámečku účinnosti máme účinnost měřenou přímou metodou podle vzorců, zatímco v červeném rámečku je účinnost počítaná ze ztrát dle normy IEC.

V ostatních sloupcích vidíme data přepočtená dle ostatních norem a pod tabulkou vidíme, co který sloupec z daných norem splňuje.

Ve vrchní části tabulky jsou základní veličiny napětí, proud, frekvence, otáčky a podobně. V druhé části tabulky níže, jsou veškeré ztráty. Důležitým poznatkem je, že námi sledované mechanické ztráty v červeném rámečku, se dělí na ztráty ventilátorové, ztráty v ložiscích a ztráty těsnících prvků. Musíme od celkových ztrát odečíst ztráty ventilační a ložiskové, které jsme v měření č.1 naměřili a dopočetli. Poté zjistíme ztráty těsnícími prvky, které jsou i s ostatními na obrázku č.64.



Obr.č. 64- rozdělení ztrát, měření č.2

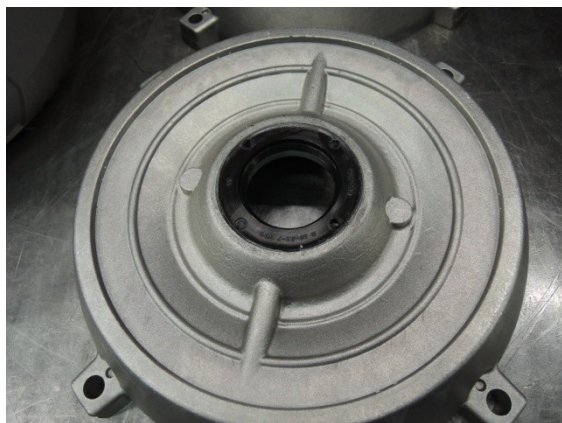
#### 6.4.4 Měření č.3

Třetí měření proběhlo na motoru, s dvěma gufery, která zabraňují zatékání kapalin. Tuto sestavu motoru budeme následně porovnávat, s všemi ostatními měřeními.

Na obrázku č.65, vidíme gufero vsazené do ložiskového štítu, který je připraven k montáži. Na obrázku č.66, je detail guferu i s jeho číselným označením a na obrázku č.67 je již zkompletovaný motor s guferem na ložiskovém štítu. Rozdíl mezi guferem a V-kroužkem, který je v následujícím měření, je takový, že gufero se nasazuje na ložiskový štít, zatímco V-kroužek se nasouvá na hřídel. Gufero se vazelínou namaže tedy na vnitřním okraji, zatímco V-kroužek na vnějším. Gufero je pryžové těsnění hřídele a ložisek, má pružinku, která zajišťuje



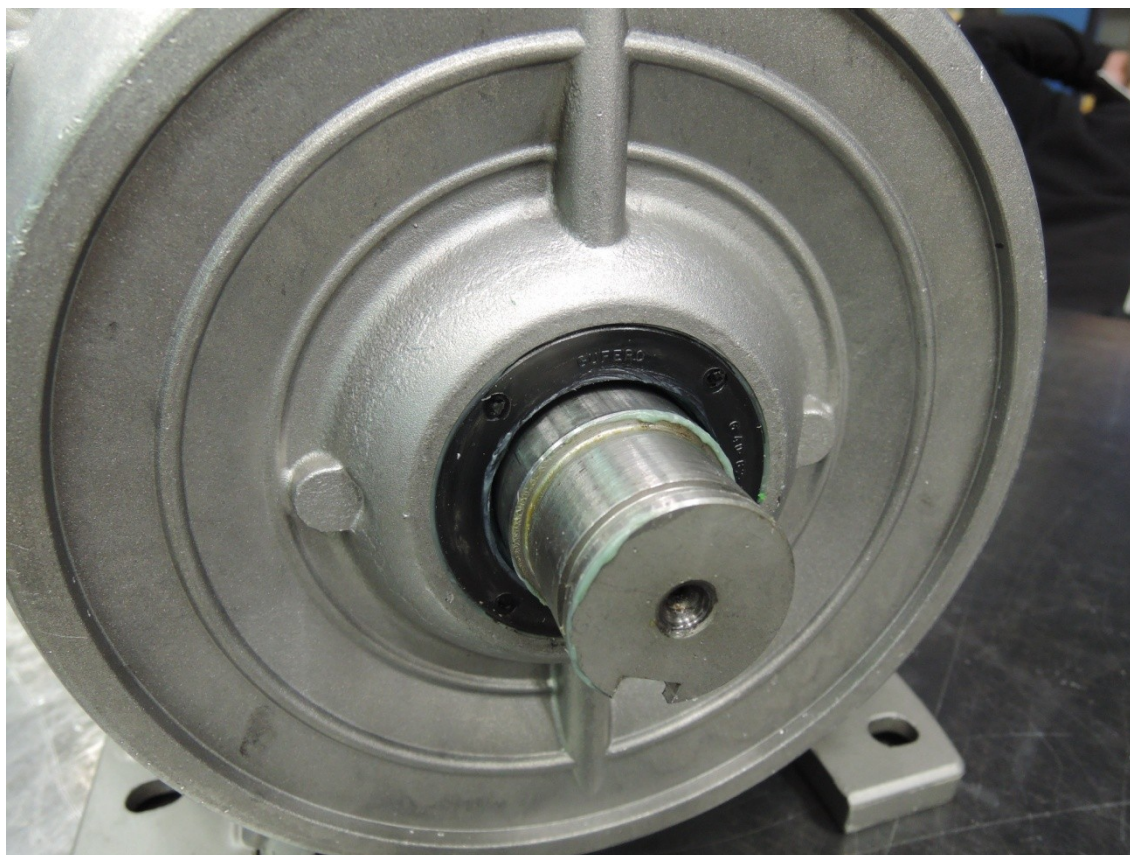
neustálý tlak na hřídel tak, aby byla zajištěna co nejlepší těsnost. Gufero má větší krytí oproti V-kroužku. Gufero zabraňuje zatékání a má stupeň krytí IP56.



**Obr.č. 65- Gufero v ložiskovém štítu**



**Obr.č. 66- číselné označení gufera**



**Obr.č. 67- motor s namontovaným guferem**

Na obrázku č.68 máme hlavičku naměřeného protokolu, která je stejná jako hlavička v kapitole 4.4. Protokol o měření. Když tedy víme, co veškeré údaje znamenají, zaměříme se jen na rámeček s nadpisem „TEST ID“, který obsahuje identifikační číslo měření, podle kterého nalezneme v přílohách kompletní typový protokol se všemi stranami

SIEMENS		TEST REPORT	
LABORATORY		MOTOR TYPE	
Siemens AG I DT LD MF/MOH R&D 3 1 Nádražní 25 789 85 Mohelnice Czech republic		1AV2131A	
		ORDER CODE	
		1LE1001-1CA134	
		CUSTOMER	
		Siemens AG I DT LD MF/MOH R&D Nádražní 25 789 85 Mohelnice Czech republic	
Originator	Call number	Pages	Annex
Rajčula Jiří	+420 583 47 2350	13	0
Reference	Test ID	Date	
	T151325-047-2	26.1.2015	

Obr.č. 68- hlavička měření č.3

Tab.č. 15- základní naměřené hodnoty, měření č.3

	Nominal value	Minimum tolerance	Maximum tolerance	Minimum value	Maximum value	Measured value	$\Delta^*$ (deviation)	Use of tolerance	Result status
$\eta$ (%)	88,10	-1,79		86,315		87,872	-0,2284	12,79%	Passed
$\cos \phi$ (-)	0,870	-0,022		0,84833		0,87614	+0,0061		Passed
Sync. Speed (1/min)	3000,0								
Nom. Speed (1/min)	2950,0					2947,0	-3,0400		
slip (-)	0,0167	-0,0033	+0,0033	0,013333	0,020000	0,017759	+0,0011	32,76%	Passed
Tst/Tn (-)						0,0000			
Tmax/Tn (-)						0,0000			
Ist/In (-)						0,0000			
$\Delta\theta$ 30s (K)	80,00		0,00		80,000	71,561	-8,4386		Passed
$\Delta\theta$ 0s (K)	80,00		0,00		80,000	76,769	-3,2311		

Tabulka č.15, ukazuje základní naměřené hodnoty. Skutečně změřené hodnoty jsou ve sloupečku „Measured value“. Pro nás nejdůležitější je hodnota účinnosti, která je naměřená a bude ve zhodnocení porovnávána s hodnotami jiných těsnících hřídelových prvků namontovaných do motoru. Hodnotu účinnosti máme pro lepší přehled označenou červeným rámečkem. Naměřená účinnost u motoru s dvěma guferý je tedy  $\eta = 87,872 \%$ .



Type certificate of 3F induction motor

Power output :	7,500kW	Note :		2x gufero	Motor type :	1AV2131A	
Voltage :	400,0V	Frequency :	50,00Hz	Thermal class :	F	Order code :	1LE1001-1CA134
Current :	14,10A	Speed :	2950/min	Type of construction :	IMB3	Test ID :	T15132S-047-2
Power factor :	0,870	No. Poles :	2	Degree of protection :	IP55	Specification :	58813202220034
Torque :	24,34Nm	Duty type :	S1	Frame Size :	132S	Serial No.:	3416
Efficiency :	88,1%	Line connection :	D	Max. amb. temperature :	40,00°C	Class of efficiency :	IE2, NEMA Energy

Obr.č. 69- hlavička štítkových hodnot, měření č.3

Na obrázku č.69, máme hlavičku se štítkovými hodnotami. Vlevo v prvním sloupci jsou veličiny uvedené na štítku a dále máme již hodnoty, kde některé jsou uvedené na štítku motoru a některé jen v katalogu. Zde si můžeme ověřit v kolonce Test ID, že jde o štítkové a katalogové hodnoty motoru z měření č.3.



Tab.č. 16- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.3

Measured at $U_n, M_n$		IEC	IEEE	CSA
Voltage $U_N$ (V):	400,150	400,150	400,150	400,153
Power in $P_N$ (W):	<b>8474,0</b>	<b>8474,0</b>	<b>8474,0</b>	<b>8474,0</b>
Current $I_N$ (A):	13,96	13,96	13,96	13,96
Frequency $f$ (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed $n$ (1/min):	2947,0	2947,0	2947,0	2947,0
Torque $T_N$ (Nm):	24,34	24,34	24,34	24,34
Power factor $\cos \phi_N$ (-):	0,876	0,876	0,876	0,876
Slip $s$ (%):	1,768	1,776	1,776	1,776
Winding rise temp $T_C$ $\delta$ (K):	82,3	82,3	82,3	82,3
Winding rise temp $T_H$ $\delta$ (K):		76,8	76,6	76,6
Core losses $\Delta P_{fe}$ (W):	---	134,3	154,1	134,3
Stator Losses $\Delta P_s$ (W):	---	478,4	471,0	478,1
Power across air gap $P_\delta$ (W):	---	7861,3	7848,9	7861,6
Rotor losses $\Delta P_r$ (W):	---	141,4	141,2	139,5
Mechanical losses $\Delta P_{fw}$ (W):	---	203,5	203,5	203,5
Stray-load losses $\Delta P_{LL}$ (W):	---	70,1	59,9	69,9
Total losses $\Delta P_T$ (W):	---	1027,8	1029,8	1025,3
Power out $P_2$ (W):	<b>7508,7</b>	<b>7510,3</b>	<b>7510,3</b>	<b>7510,3</b>
Efficiency $\eta$ (%):	<b>88,61</b>	<b>87,87</b>	<b>87,85</b>	<b>87,90</b>

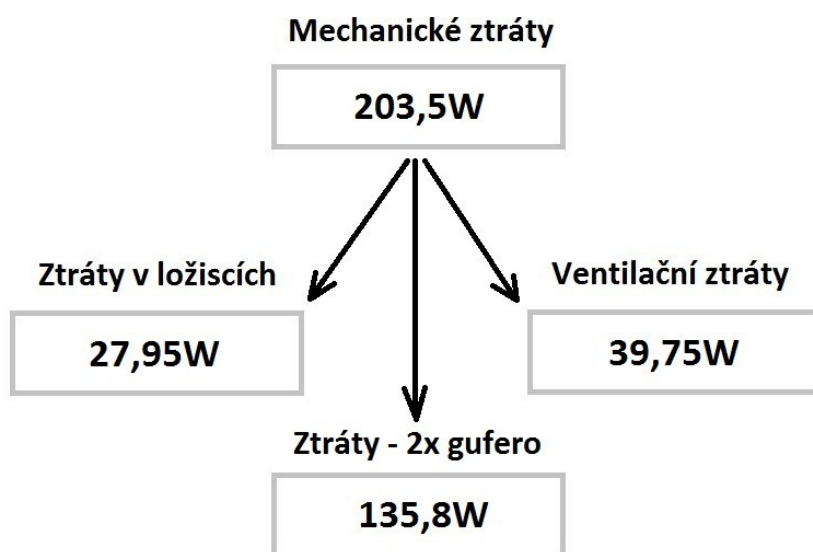
  

Standard:	IEC		NEMA		NEMA	
IEC IE4 Super, NEMA Super:	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum
IEC IE3 Premium, NEMA Premium:				✓		✓
IEC IE2 High, NEMA Energy:		✓		✓		✓
IEC IE1 Standart:	✓					

Tabulka nám udává přehled mezi naměřenými veličinami při jmenovitém napětí a momentu, v porovnání s normami. Celková účinnost stejně jako mechanické ztráty jsou označeny červeným rámečkem pro snadnou orientaci. Celkovou účinnost následně budeme porovnávat s ostatními měřeními, kde budeme sledovat, který těsnící prvek měl největší vliv na účinnost.

V ostatních sloupcích vidíme data přepočtená dle ostatních norem a pod tabulkou vidíme, co který sloupec z daných norem splňuje.

Jako u předchozích měření, námi sledované mechanické ztráty se dělí na ztráty ventilátorové, v ložiscích a ztráty těsnících prvků, neboli nyní dvou gufer. I u tohoto měření jakožto u předchozích musíme mechanické ztráty rozdělit. Díky naměřeným hodnotám ložiskových ztrát, vypočtených ventilačních ztrát, můžeme dopočítat ztráty těsnících prvků, jak vidíme na obrázku č.70.



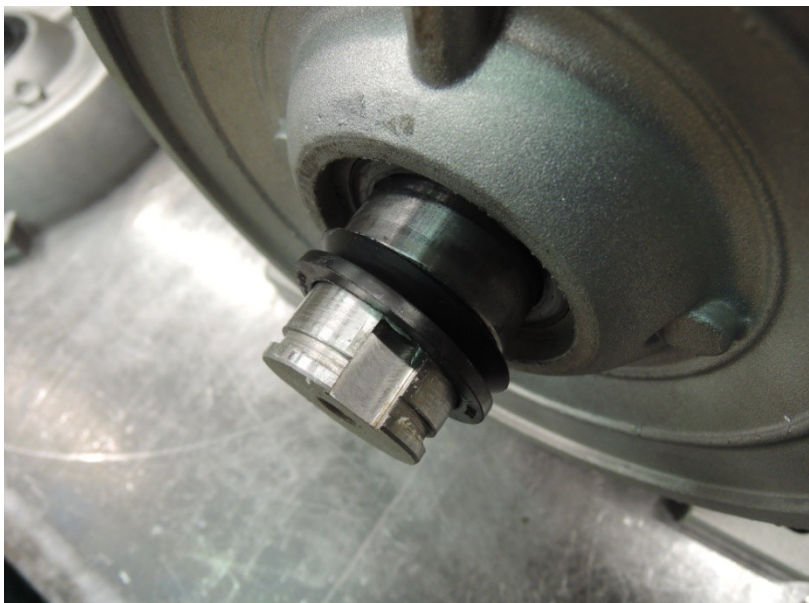
Obr.č. 70- rozdělení ztrát, měření č.3

#### 6.4.5 Měření č.4

Čtvrté měření proběhlo na motoru, s dvěma V-kroužky. V kroužek se montuje na hřídel. tenký šikmý těsnící břit V-kroužku se opírá o plochu ložiskového štítu. V- kroužek slouží i jako odstříkovací kroužek, protože voda, která se na něj dostane odstříkne, jelikož se V-kroužek otáčí společně s hřídelí.

Tuto sestavu motoru budeme následně porovnávat, se všemi ostatními měřeními.

Na obrázku č.71, vidíme V-kroužek nasazený na hřídeli a jeho detail. Na obrázku č.72 je již zkompleťovaný motor s V-kroužkem. Rozdíl mezi guferem a V-kroužkem, který je v tomto měření, je takový, že gufero se nasazuje na ložiskový štít, zatímco V-kroužek se nasouvá na hřídel.




**Obr.č. 71- V-kroužek nasazený na hřídeli**



**Obr.č. 72- motor s umístěným V-kroužkem**



		<b>TEST REPORT</b>			
		MOTOR TYPE <b>1AV2131A</b>			
LABORATORY <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D 3 1</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>		ORDER CODE <b>1LE1001-1CA134</b>			
		CUSTOMER <b>Siemens AG</b> <b>I DT LD MF/MOH R&amp;D</b> <b>Nádražní 25</b> <b>789 85 Mohelnice</b> <b>Czech republic</b>			
Originator <b>Rajčula Jiří</b>	Call number <b>+420 583 47 2350</b>	Pages <b>13</b>	Annex <b>0</b>	Date <b>20.1.2015</b>	
Reference 	Test ID <b>T151325-031-2</b>				

Obr.č. 73- hlavička protokolu, měření č.4

Tab.č. 17- základní naměřené hodnoty, měření č.4

	Nominal value	Minimum tolerance	Maximum tolerance	Minimum value	Maximum value	Measured value	$\Delta$ (deviation)	Use of tolerance	Result status
$\eta$ (%)	<b>88,10</b>	<b>-1,79</b>		<b>86,315</b>		<b>88,885</b>	<b>+0,7849</b>		<b>Passed</b>
$\cos \phi$ (-)	<b>0,870</b>	<b>-0,022</b>		<b>0,84833</b>		<b>0,87345</b>	<b>+0,0034</b>		<b>Passed</b>
Sync. Speed (1/min)	<b>3000,0</b>					<b>2949,8</b>	<b>-0,1600</b>		
Nom. Speed (1/min)	<b>2950,0</b>								
slip (-)	<b>0,0167</b>	<b>-0,0033</b>	<b>+0,0033</b>	<b>0,013333</b>	<b>0,020000</b>	<b>0,016720</b>	<b>+0,0001</b>	<b>1,60%</b>	<b>Passed</b>
Tst/Tn (-)						<b>0,0000</b>			
Tmax/Tn (-)						<b>0,0000</b>			
Ist/In (-)						<b>0,0000</b>			
$\Delta\theta$ 30s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>66,313</b>	<b>-13,6868</b>		<b>Passed</b>
$\Delta\theta$ 0s (K)	<b>80,00</b>		<b>0,00</b>		<b>80,000</b>	<b>71,093</b>	<b>-8,9065</b>		

Tabulka č.17 nám ukazuje základní naměřené hodnoty. Skutečně změřené hodnoty jsou ve sloupečku „Measured value“. Hodnotu účinnosti máme pro lepší přehled označenou červeným rámečkem. Naměřená účinnost u motoru s dvěma V-kroužky je tedy  $\eta = 88,885 \%$ .

**SIEMENS**

Type certificate of 3F induction motor

Power output :	<b>7,500kW</b>	Note :		2x CD kroužek		Motor type :	<b>1AV2131A</b>
Voltage :	<b>400,0V</b>	Frequency :	<b>50,00Hz</b>	Thermal class :	<b>F</b>	Order code :	<b>1LE1001-1CA134</b>
Current :	<b>14,10A</b>	Speed :	<b>2950/min</b>	Type of construction :	<b>IMB3</b>	Test ID :	<b>T15132S-031-2</b>
Power factor :	<b>0,870</b>	No. Poles :	<b>2</b>	Degree of protection :	<b>IP55</b>	Specification :	<b>58813202220034</b>
Torque :	<b>24,30Nm</b>	Duty type :	<b>S1</b>	Frame Size :	<b>132S</b>	Serial No.:	<b>3416</b>
Efficiency :	<b>88,1%</b>	Line connection :	<b>D</b>	Max. amb. temperature :	<b>40,00°C</b>	Class of efficiency :	<b>IE2, NEMA Energy</b>

**Obr.č. 74- hlavička štítkových hodnot, měření č.4**

Na obrázku č. 74, máme hlavičku se štítkovými hodnotami. Vlevo v prvním sloupci jsou veličiny uvedené na štítku a dále máme již hodnoty, kde některé jsou uvedené na štítku motoru a některé jen v katalogu. Zde si můžeme ověřit v kolonce Test ID, že jde o štítkové a katalogové hodnoty motoru z měření č.4.

Tab.č. 18- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.4

Measured at Un, Mn		IEC	IEEE	CSA
Voltage UN (V):	400,110	400,110	400,110	400,110
Power in PN (W):	<b>8369,0</b>	<b>8369,0</b>	<b>8369,0</b>	<b>8369,0</b>
Current IN (A):	13,83	13,83	13,83	13,83
Frequency f (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed n (1/min):	2949,8	2949,8	2949,8	2949,8
Torque TN (Nm):	24,30	24,30	24,30	24,30
Power factor cos {N (-):	0,873	0,873	0,873	0,873
Slip s (%):	1,672	1,672	1,672	1,672
Winding rise temp TC § (K):	77,4	77,4	77,4	77,4
Winding rise temp HR § (K):		71,1	70,9	70,9
Core losses ΔPfe (W):	---	122,9	140,2	122,8
Stator Losses ΔPs (W):	---	461,7	455,1	461,3
Power across air gap Pδ (W):	---	7784,4	7773,7	7784,8
Rotor losses ΔPr (W):	---	132,1	131,9	130,0
Mechanical losses ΔPfw (W):	---	151,3	151,3	151,3
Stray-load losses ΔPLL (W):	---	62,3	53,2	62,1
Total losses ΔPT (W):	---	930,2	931,7	927,6
Power out P2 (W):	<b>7503,7</b>	<b>7505,4</b>	<b>7505,4</b>	<b>7505,4</b>
Efficiency η (%):	<b>89,66</b>	<b>88,88</b>	<b>88,87</b>	<b>88,92</b>

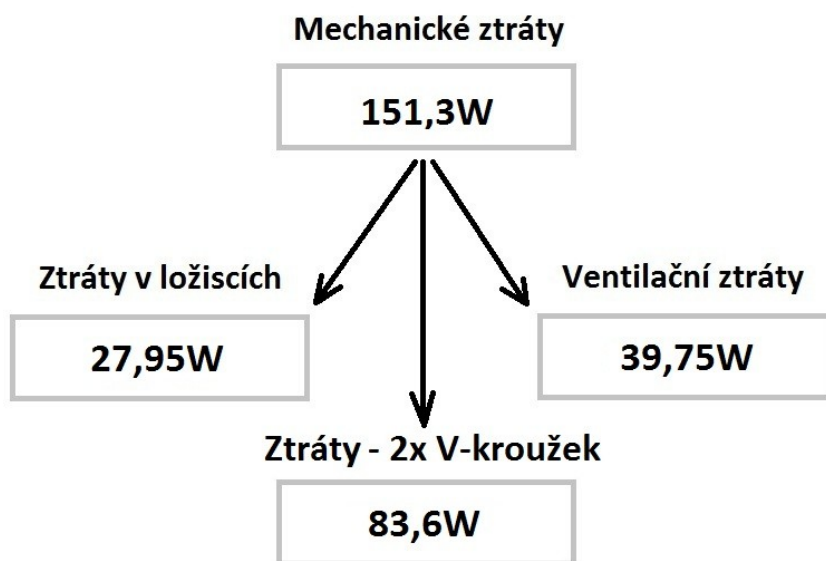
  

Standard:	IEC		NEMA		NEMA	
IEC IE4 Super, NEMA Super:	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum	Nominal	Minimum
IEC IE3 Premium, NEMA Premium:		✓		✓		✓
IEC IE2 High, NEMA Energy:	✓		✓		✓	
IEC IE1 Standart:	✓					

Tabulka č.18, udává přehled mezi naměřenými veličinami při jmenovitém napětí a momentu, v porovnání s normami. Celková účinnost stejně jako mechanické ztráty jsou označeny červeným rámečkem pro snadnou orientaci. Celkovou účinnost následně budeme porovnávat s ostatními měřeními, kde budeme sledovat, který těsnící prvek měl největší vliv na účinnost.

V ostatních sloupcích vidíme data přepočtená dle ostatních norem a pod tabulkou vidíme, co který sloupec z daných norem splňuje.

Jako u předchozích měření, námi sledované mechanické ztráty se dělí na ztráty ventilátorové, v ložiscích a ztráty těsnících prvků, neboli nyní dvou V-kroužků. Díky naměřeným hodnotám ložiskových ztrát, vypočtených ventilačních ztrát, můžeme dopočítat ztráty těsnících prvků, jak vidíme na obrázku č.75.



Obr.č. 75- rozdělení ztrát, měření č.4

## 7 Zhodnocení

Tab.č. 19- zhodnocení mech. ztrát a účinnosti

	Mech. Ztráty celkové	Ztráty vyšetřovaných prvků	účinnost
<b>Měření č.1</b>	<b>67,7 W</b>	<b>-</b>	<b>89,968%</b>
<b>Měření č.2</b>	<b>86,7 W</b>	<b>19 W</b>	<b>89,677%</b>
<b>Měření č.3</b>	<b>203,5 W</b>	<b>135,8 W</b>	<b>87,872%</b>
<b>Měření č.4</b>	<b>151,3 W</b>	<b>83,6 W</b>	<b>88,885%</b>

**Měření č. 1- Motor se zvolenými ložisky bez těsnících prvků (1x vyrovnávací podložka)**

**Měření č. 2- Motor se zvolenými ložisky s dvěma vyrovnávacími podložkami**

**Měření č. 3- Motor se zvolenými ložisky s těsněním 2x gufero**

**Měření č. 4- Motor se zvolenými ložisky s těsněním 2x V- kroužek**

Z tabulky č.19 je patrné, že nejnižší účinnost měl motor z měření č.3, neboli s těsněním pomocí 2ks gufera. Tím pádem těsnění 2x gufero vytváří při chodu motoru tření, které výrazně ovlivňuje mechanické ztráty, které jsou jejich vlivem více jak dvojnásobné oproti například měření č1 a 2.

U měření číslo 4, tedy těsnění uložení motoru pomocí V kroužků, je také vidět, že mechanické ztráty jsou výrazně vyšší než u prvního měření bez těsnících prvků. V kroužky se tedy velkou měrou podílí na zvýšení tření a tím pádem na velikosti mechanických ztrát.

U měření číslo 2, kde byly použity dvě vyrovnávací podložky, naopak jde vidět, že se tolik od prvního měření bez těsnících prvků s jednou vyrovnávací podložkou, neliší oproti ostatním měřením. Vyrovnávací podložky, mají tedy nejmenší vliv na tření a tím zvýšení mechanických ztrát. U měření č.2 je účinnost nejméně negativně odchýlena od prvního měření, které má katalogové hodnoty.

Přepočítání nám vychází, že každá vyrovnávací podložka má ztrátu 19W, zatímco každé gufero se podílí na ztrátách 67,9W a každý kus V-kroužku si vyžádá ztráty 41,8W. Je tedy jednoznačné, že gufero zvětšuje třením celkové mechanické ztráty nejvíce.

Pokud se budeme zabývat ostatními naměřenými hodnotami, zjistíme, že těsnící prvky měli nepatrný a někdy až zanedbatelný vliv na jiné veličiny v uvedených tabulkách. Zatímco je patrné, že mechanické ztráty se od prvního porovnávacího měření rapidně liší. Ještě si můžeme povšimnout, že vrostly teploty vinutí motoru „Winding rise temp TC a Winding rise temp HR“.

U měření číslo 3 lze již také sledovat nárůst rotorových ztrát. Veškeré ztráty uvedené ve spodní části tabulky vyznačují nárůst v pořadí, v kterém více či méně zkoumané prvky ovlivňují ztráty mechanické. Těsnící prvky tedy mají vliv na ostatní veličiny, ale zásadním činitelem, který se podílí na celkových ztrátách, jsou ztráty mechanické, kam ztráty ve vyšetřovaných prvcích spadají společně s ventilačními a ztrátami v ložiscích.

Tab.č. 20- srovnání hodnot dle normy IEC

	1.	2.	3.	4.
Voltage UN (V):	400,100	400,160	400,150	400,110
Power in PN (W):	<b>8287,0</b>	<b>8302,0</b>	<b>8474,0</b>	<b>8369,0</b>
Current IN (A):	13,72	13,78	13,96	13,83
Frequency f (Hz):	50,00	50,00	50,00	50,00
Speed n (1/min):	2951,0	2950,6	2947,0	2949,8
Torque TN (Nm):	24,28	24,28	24,34	24,30
Power factor cos {N (-):	0,871	0,869	0,876	0,873
Slip s (%):	1,640	1,656	1,776	1,672
Winding rise temp TC § (K):	73,2	73,4	82,3	77,4
Winding rise temp HR § (K):	67,3	67,2	76,8	71,1
Core losses $\Delta P_{fe}$ (W):	122,6	122,4	134,3	122,9
Stator Losses $\Delta P_s$ (W):	449,6	454,5	478,4	461,7
Power across air gap $P_\delta$ (W):	7714,8	7725,1	7861,3	7784,4
Rotor losses $\Delta P_r$ (W):	127,8	129,7	141,4	132,1
Mechanical losses $\Delta P_{fw}$ (W):	67,7	86,7	203,5	151,3
Stray-load losses $\Delta P_{LL}$ (W):	63,6	63,7	70,1	62,3
Total losses $\Delta P_T$ (W):	831,3	857,0	1027,8	930,2
Power out P2 (W):	<b>7504,3</b>	<b>7501,5</b>	<b>7510,3</b>	<b>7505,4</b>
Efficiency $\eta$ (%):	<b>89,97</b>	<b>89,68</b>	<b>87,87</b>	<b>88,88</b>



## 8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jaký vliv mají těsnicí hřídelové prvky, na určených ložiscích, na účinnost asynchronního motoru. Základem byl teoretický rozbor funkce, principu a popis asynchronních motorů. Jelikož měření, která měla odhalit vlivy těsnících prvků, se konala v Siemens s.r.o. o.z. Mohelnice, tak byl popsán i výrobní postup tohoto typu motorů. Popis výroby, technologií a postupů je takovou obrázkovou a textovou exkurzí po závodě v Mohelnici, jakožto největšího výrobce nízkonapěťových motorů v Evropě.

Hlavní náplní však byla praktická měření prováděná v laboratoři Siemens o.z. Mohelnice. Prvotně došlo k popisu postupů, norem a vzhledu typových protokolů, které jsou základním kamenem k porovnání naměřených výsledků a ke konečnému zhodnocení. Příklady v podobě obrázků nastiňují konkrétní těsnicí prvky, montáže před měřením a především samotná měření. K dispozici byl dvoupólový asynchronní motor s hybridním rotorem, který má největší otáčky a tak pro měření vlivu těsnících prvků, které měli za předpokladu ovlivnit mechanické ztráty, byl nejlepší volbou. Na tento měřený motor se montovali různé těsnicí hřídelové prvky a byla provedena měření. První měření bylo bez těsnících prvků jen s jednou vyrovnávací podložkou pro snížení hlučnosti, zatímco druhé měření již mělo vyrovnávací podložky dvě. Třetí měření bylo provedeno na motoru opatřeném dvěma kusy gufera a čtvrté měření spočívalo v měření motoru osazeným dvěma V-kroužky. Jak se předpokládalo, tyto prvky měli vliv na mechanické ztráty a dá se jistě tvrdit, že čím prvek má lepší těsnicí vlastnosti a stupeň krytí, tím má větší vliv na mechanické ztráty. Zjištění přesných hodnot bylo překvapující, jelikož z porovnání ve zhodnocení je patrné, že motor osazen dvěma vyrovnávacími podložkami má každým tímto prvkem sníženou účinnost o cca. 0,25%, oproti měření č.1, které sloužilo jako porovnávací a kde motor obsahoval pouze jednu vyrovnávací podložku. U měření s dvěma guferami bylo zjištěno, že tyto prvky nejvíce negativně ovlivňují účinnost a to každý kus gufera asi o 1%. U čtvrtého měření V-kroužků, každý kus ovlivní negativně účinnost o 0,5%. U těchto tří prvků tedy lze říci, že každý další kus jednotlivého prvku s většími těsnicími vlastnostmi, od základní vyrovnávací podložky, sníží vliv na účinnost vždy dvojnásobně.

Největším přínosem této práce je, že zákazníci Siemensu s.r.o. nyní dostanou jasné informace o tom jaký prvek a o kolik sníží účinnost oproti základnímu katalogovému motoru, který jsme měli v prvním měření. Je tak nyní možné i kalkulovat s kombinacemi těchto těsnících hřídelových prvků a tím dopředu namodelovat celkové snížení účinnosti. Pokud tedy někdo zvolí motor, který bude opatřen na jedné straně guferem a na druhé V-kroužkem, může říci, že účinnost tohoto motoru z katalogu poklesne o 1,5%. Pokud vypadá snížení účinnosti malicherné, není tomu tak. Dnešní závody o nejlepší účinnosti motorů nutí všechny výrobce a především giganta jako Siemens s.r.o. zabývat se i desetinami procent, které ovlivňují účinnost. Navíc katalogový motor vyhovuje určitým třídám účinností a po přidání těsnícího prvku, se může stát, že motor z jedné třídy účinnosti propadne na nižší třídu účinnosti. S tímto faktem musí být seznámen zákazník Siemensu s.r.o., ale i především sám výrobce musí vědět, jak velké

tyto vlivy u jednotlivých prvků jsou. Tato práce jasně ukázala a popsala tento vliv a jeho velikost na účinnost a je pro společnost Siemens s.r.o. a její zákazníky přínosem.

## 9 Literatura:

- [1] Kačor, Petr: *Vybrané typy el. Strojů* (skriptum VŠB-TU Ostrava, 2010).
- [2] Chmelík, Karel: *Asynchronní a synchronní stroje* (skriptum VŠB-TU Ostrava, 2002).
- [3] SIEMENS S.R.O., O.z. Mohelnice. Stručný popis výroby asynchronního elektromotoru. *Stručný popis výroby asynchronního elektromotoru*. 2013, s. 21.
- [4] ŠKOP, F. Komplexní zkoušky nízkonapěťových asynchronních elektromotorů. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 79 s. Vedoucí práce: Petrů, J.
- [5] SIEMENS S.R.O. Siemens: Siemens Česká republika [online]. © 2014, 2014 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z :[https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/OZ\\_Mohelnice/Pages/Elektromotory\\_Mohelnice.aspx](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/OZ_Mohelnice/Pages/Elektromotory_Mohelnice.aspx)
- [6] SIEMENS S.R.O. *SIMOTICS: nízkonapěťové trojfázové asynchronní motory nakrátko podle IEC*. Praha: Divize Industry Automation & Drive Technologies, 2012, 214 s. Katalog D 81.1. Dostupné z: [www.siemens.cz/motory](http://www.siemens.cz/motory)
- [7] ČSN 35 0010. *Točivé elektrické stroje: zkoušky*. Praha: Vydavatelství norem, 1992.
- [8] ORS. *Types of Bearings: Single-Row and Double-Row Ball Bearings* [online]. Ankara - TURKEY, 2015 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.ors.com.tr/index.php/en/page,43,types of bearings](http://www.ors.com.tr/index.php/en/page,43,types%20of%20bearings)
- [9] KOPYLOV, Igor, Petrovič. *Stavba elektrických strojů*. první. Doc. Ing. Petr voženílek, CSc. Ing. Rostislav Zeman. Moskva: Nakladatelství Mír, 1988, 688 s.

## 10 Seznam použitých obrázků a tabulek

Obr.č. 1- Asynchronní elektromotory malých výkonů (cca 0,09 až 15kW) .....	2
Obr.č. 2- Původní konstrukce 2f. as.motoru .....	7
Obr.č. 3- Nikola Tesla.....	3
Obr.č. 4- pracovní stavy asynchronního stroje.....	6
Obr.č. 5- Energetická bilance asynchronního motoru.....	7
Obr.č. 6- blokové schéma výroby asynchronního motoru v Siemens s.r.o. ....	10
Obr.č. 7- Komponenty elektromotoru.....	11
Obr.č. 8- statorové plechy .....	12
Obr.č. 9- Statorový svazek nenavinutý .....	12
Obr.č. 10- Rotorové plechy .....	13
Obr.č. 11- Lis pro výrobu statorových a rotorových plechů .....	13
Obr.č. 12- Paketování statorových svazků .....	14
Obr.č. 13- Vstřikovací lis .....	15
Obr.č. 14- Surový rotor .....	15
Obr.č. 15- Strojní „zatahování“ vinutí .....	20
Obr.č. 16- Ruční vkládání vinutí.....	16
Obr.č. 17- Kompletace statorového svazku .....	16
Obr.č. 18- elektrická zkouška (ruční).....	21
Obr.č. 19- el. zkouška (strojní).....	17
Obr.č. 20- máčení v impregnaci .....	22
Obr.č. 21- vytvrzení pomocí UV .....	17
Obr.č. 22- Obráběcí centrum na výrobu hřídelí .....	18
Obr.č. 23- lisování hřídelí do rotoru .....	23
Obr.č. 24- vyvažování rotoru .....	19
Obr.č. 25- vkládání statoru do nahřáté hliníkové kostry .....	20
Obr.č. 26- Montážní linka č.1 .....	27
Obr.č. 27- Montážní linka č.2 .....	22
Obr.č. 28- elektrická zkouška motoru .....	23

Obr.č. 29- povrchová úprava (nástrík laku) .....	24
Obr.č. 30- balení a expedice.....	24
Obr.č. 31- třídy účinností IE .....	27
Obr.č. 32- IE dle výkonu a účinnosti .....	27
Obr.č. 33- příklad výkonového štítku IE2, hliníková kostra, motor 18,5kW .....	29
Obr.č. 34- hlavička měření ztrát v ložiscích bez ventilátoru.....	31
Obr.č. 35- rozdělení ztrát .....	32
Obr.č. 36- hlavička protokolu .....	33
Obr.č. 37- Štítkové, katalogové hodnoty a data .....	34
Obr.č. 38- charakteristika měření naprázdno .....	38
Obr.č. 39- charakteristika měření nakrátko .....	39
Obr.č. 40- zatěžovací charakteristika .....	40
Obr.č. 41- graf pro vyšetřování napět'ového optima .....	41
Obr.č. 42- grafy z měření pro extrapolaci a zjištění maximálního momentu .....	42
Obr.č. 43- naměřené teploty pomocí jednotlivých teplotních čidel .....	43
Obr.č. 44- pohled na monitor při měření oteplovací zkoušky .....	44
Obr.č. 45- určení teploty vinutí v okamžiku odpojení motoru .....	44
Obr.č. 46- detail přístroje Yokogawa WT230 .....	46
Obr.č. 47- klimatická komora .....	48
Obr.č. 48- jednotlivé části měřeného motoru i s těsníci prvky .....	51
Obr.č. 49- vyvedení měřicího čidla teploty a detail hybridního rotoru .....	52
Obr.č. 50- motor bez ventilátoru .....	58
Obr.č. 51- motor s ventilátorem .....	53
Obr.č. 52- kompletně sestavený motor .....	53
Obr.č. 53- měřicí pracoviště č.3 .....	54
Obr.č. 54- měřený motor při měření zatížení .....	54
Obr.č. 55- ložisko ORS .....	55
Obr.č. 56- ložisková klec, ložiska ORS .....	55
Obr.č. 57- hlavička protokolu, měření č.1 .....	57
Obr.č. 58- hlavička se štítkovými hodnotami, měření č.1 .....	58

Obr.č. 59- rozdělení ztrát, měření č.1.....	60
Obr.č. 60- vyrovnávací podložka .....	61
Obr.č. 61- výkres vyrovnávací podložky .....	62
Obr.č. 62- hlavička protokolu, měření č.2 .....	62
Obr.č. 63- hlavička se štítkovými hodnotami, měření č.2.....	63
Obr.č. 64- rozdělení ztrát, měření č.2.....	65
Obr.č. 65- Gufero v ložiskovém štítu .....	71
Obr.č. 66- číselné označení gufera .....	66
Obr.č. 67- motor s namontovaným guferem .....	66
Obr.č. 68- hlavička měření č.3 .....	67
Obr.č. 69- hlavička štítkových hodnot, měření č.3 .....	68
Obr.č. 70- rozdělení ztrát, měření č.3.....	70
Obr.č. 71- V-kroužek nasazený na hřídeli .....	71
Obr.č. 72- motor s umístěným V-kroužkem .....	71
Obr.č. 73- hlavička protokolu, měření č.4 .....	72
Obr.č. 74- hlavička štítkových hodnot, měření č.4 .....	73
Obr.č. 75- rozdělení ztrát, měření č.4.....	75
 Tab.č. 1- rozdělení otáček dle počtu pólů a pólparů .....	4
Tab.č. 2- příklady hodnot účinností určených aktuální a starou metodou .....	27
Tab.č. 3- porovnání změn.....	28
Tab.č. 4- detail objednacího čísla.....	33
Tab.č. 5- popis významů jednotlivých pozic u sjednávacího čísla .....	34
Tab.č. 6- základní naměřené hodnoty .....	35
Tab.č. 7- tabulka měřených a vypočítaných hodnot dle norem.....	37
Tab.č. 8- seznam měřících přístrojů č.1 .....	45
Tab.č. 9- seznam měřících přístrojů č.2 .....	46
Tab.č. 10- parametry ložisek ORS .....	56
Tab.č. 11- naměřené hodnoty, měření č.1 .....	57



Tab.č. 12- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.1 .....	59
Tab.č. 13- základní naměřené hodnoty, měření č.2 .....	63
Tab.č. 14- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.2.....	64
Tab.č. 15- základní naměřené hodnoty, měření č.3 .....	67
Tab.č. 16- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.3.....	69
Tab.č. 17- základní naměřené hodnoty, měření č.4 .....	72
Tab.č. 18- hodnoty při jmenovitém napětí a momentu s uvedením ztrát v motoru a výpočtem celkové účinnosti, měření č.4.....	74
Tab.č. 19- zhodnocení mech. ztrát a účinnosti.....	76
Tab.č. 20- srovnání hodnot dle normy IEC.....	77

## **11 Seznam příloh**

### **11.1 Tisknuté**

Typový protokol měření č.1, str.17

### **11.2 Elektronické**

Typový protokol měření motoru bez ventilátoru: B15132S-210-2

Typový protokol k měření č.1: T15132S-003-2

Typový protokol k měření č.2: T15132S-027-2

Typový protokol k měření č.3: T15132S-047-2

Typový protokol k měření č.4: T15132S-031-2

Grafická struktura objednáčího čísla: struktura objednáčího čísla